

# **AVALIAÇÃO DO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO EM EDIFÍCIOS DECORRENTE DE INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO**

Caso de estudo

**FÁBIO MANUEL COSTA PEREIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JULHO DE 2018



## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018- Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.



A ti por estares sempre comigo

*Para realizar um sonho é preciso esquecê-lo, distrair dele a atenção. Por isso realizar é não  
realizar.*

*Fernando Pessoa*



## **AGRADECIMENTOS**

Esta é uma dissertação que representa a reta final de uma longa caminhada de vários anos. Tenho a agradecer a todos aqueles que estiveram comigo, que me deram impulso e motivação. Que me reconfortaram, mas também repreenderam. A todos aqueles que marcaram a minha vida no decorrer desta etapa.

Agradeço à minha orientadora, Professora Maria Helena Corvacho pela disponibilidade, orientação e ajuda científica, cuja experiência e conhecimento foram fundamentais para concretização deste trabalho.

Um agradecimento à Camara Municipal de Lamego pelo consentimento na monitorização e recolha de dados no local em estudo, e funcionários do CIMI pela simpatia e disponibilidade.

À empresa Mapec pelo fornecimento de material de estudo para este trabalho.

Aos meus pais que foram fundamentais nesta jornada.

À Cátia por todo o apoio, tempo e compreensão e esforço por mim.





## **RESUMO**

Um dos grandes desafios para o setor da construção é o aumento das exigências do conforto térmico sem que isso resulte num excessivo consumo energético e consequente impacto ambiental negativo no meio ambiente. Para isso é necessário conhecer bem o comportamento térmico do edifício assim como a envolvente climática que o rodeia.

Nos dias de hoje, onde a reabilitação do património edificado é cada vez mais importante para o setor da construção, é preciso compreender de que forma se pode intervir num edifício sem que isso afete o nível de conforto térmico.

Com o objetivo de avaliar o efeito de intervenções de reabilitação no desempenho térmico do edifício e principalmente no que diz respeito ao risco de ocorrência de temperaturas altas no seu interior, propôs-se a análise de um caso real através de um estudo paramétrico com o auxílio de uma ferramenta de cálculo, o DesignBuilder.

Durante 43 dias foram monitorizadas as temperaturas do ar interior assim como a temperatura exterior do meio ambiente inserido. Na modelação no DesignBuilder, foram detalhadas com rigor as características dos materiais que constituem a envolvente do edifício e procedeu-se à simulação do seu comportamento térmico, durante toda a estação de arrefecimento.

Os resultados permitiram concluir que nem sempre o isolamento térmico é uma boa solução para o conforto térmico de verão se não for considerada a inércia térmica, e que a utilização de grandes vãos envidraçados mal orientadas sem sombreamento eficaz, provocam ganhos solares prejudiciais para o ambiente interior e para o conforto térmico do utilizador durante a estação de arrefecimento. Para isso, é essencial utilizar um sistema de ventilação que priorize a ventilação noturna por forma permitir a troca do ar quente interior pelo ar fresco que vem do exterior.

**PALAVRAS-CHAVE:** conforto térmico de verão, sobreaquecimento, vãos envidraçados, inércia térmica, ventilação.



## **ABSTRACT**

One of the greatest challenges for the construction industry is the increase in the demands of thermal comfort without this resulting in excessive energy consumption and consequent negative environmental impact on the environment. To achieve this, it is necessary to know the building's thermal performance as well as the climatic environment that surrounds it.

Nowadays, where rehabilitation of the built heritage is increasingly important for the construction sector, it is necessary to understand how a building can be intervened without affecting the level of thermal comfort.

With the objective of evaluating the effect of rehabilitation interventions on the thermal performance of the building and especially with regard to the risk of high temperatures occurring inside, the analysis of a real case was proposed through a parametric study with the aid of a calculation tool, the DesignBuilder.

During 43 days, the indoor air temperatures were monitored as well as the outside temperature of the inserted environment. In the DesignBuilder modeling, the characteristics of the materials that constitute the building envelope were rigorously detailed and the thermal behavior was simulated throughout the cooling season.

The results allowed us to conclude that thermal insulation is not always a good solution for summer thermal comfort if thermal inertia is not considered and that the use of poorly oriented glazed areas without effective shadowing causes detrimental solar gains for the indoor environment and for the thermal comfort of the user during the cooling season. Therefore, it is essential to use a ventilation system that prioritizes night ventilation to allow the exchange of indoor hot air by fresh air coming from the outside.

**KEYWORDS:** thermal comfort of summer, overheating, glazing area, thermal inertia, ventilation.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
<b>2. CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>3</b>
2.1. DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO .....	3
2.2. TRANSMISSÃO DE CALOR – COMPORTAMENTO TÉRMICO .....	3
2.3. VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA DO CONFORTO TÉRMICO .....	4
2.3.1. PARÂMETROS INDIVIDUAIS - TAXA DE METABOLISMO E EFEITO DO VESTUÁRIO .....	4
2.3.2. PARÂMETROS AMBIENTAIS - AVALIAÇÃO DO CLIMA INTERIOR .....	5
2.4. TEMPERATURA OPERATIVA .....	5
2.4.1. PMV .....	6
2.4.2. PPD .....	6
2.5 GRAUS HORA DE DESCONFORTO .....	8
2.6. ORIENTAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR .....	8
2.7. FORMA DO EDIFÍCIO E ORGANIZAÇÃO INTERNA DOS COMPARTIMENTOS .....	9
2.8. INÉRCIA TÉRMICA .....	10
2.9. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	11
2.10. FATOR SOLAR .....	11
2.11. SOMBREAMENTO .....	11
2.12. VENTILAÇÃO .....	11
<b>3. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>15</b>
3.1. CENTRO INTERPRETATIVO DA MÁSCARA IBÉRICA .....	15
3.2. MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO EDIFÍCIO .....	16
3.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E LOCALIZAÇÃO DE SENSORES .....	17

3.3.1. EDIFÍCIO ANTIGO .....	17
3.3.1.1. Zona 1 – Rés-do-chão .....	17
3.3.1.2. Zona 2 – Piso 1 .....	18
3.3.1.3. Zona 3 – Piso 2 .....	19
3.3.2. EDIFÍCIO NOVO .....	21
3.3.2.1. Zona 4 – rés-do-chão .....	21
3.3.2.2. Zona 5 – auditório .....	23
3.3.2.3. Zona 6 – Piso 1 .....	25
3.3.3. CONDIÇÕES NO EXTERIOR .....	26

<b>4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. DESIGNBUILDER .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. INTRODUÇÃO DE DADOS NO DESIGNBUILDER .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. MONITORIZAÇÃO “IN SITU” – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM OS RESULTADOS DO DESIGNBUILDER .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4. SIMULAÇÃO COM DADOS GENÉRICOS PARA A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5. ZONA 1 – EDIFÍCIO ANTIGO .....</b>	<b>34</b>
4.5.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	34
4.5.2. ÍNDICE PMV .....	36
<b>4.6. ZONA 2 – EDIFÍCIO ANTIGO .....</b>	<b>37</b>
4.6.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	37
4.6.2. ÍNDICE PMV .....	39
<b>4.7. ZONA 3 – EDIFÍCIO ANTIGO .....</b>	<b>40</b>
4.7.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	41
4.7.2. ÍNDICE PMV .....	42
<b>4.8. ZONA 4 – EDIFÍCIO NOVO .....</b>	<b>44</b>
4.8.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	44
4.8.2. ÍNDICE PMV .....	46
<b>4.9. ZONA 5 – EDIFÍCIO NOVO .....</b>	<b>47</b>
4.9.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	47
4.9.2. ÍNDICE PMV .....	50
<b>4.10. ZONA 6 – EDIFÍCIO NOVO .....</b>	<b>51</b>
4.10.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR .....	51

4.10.2. ÍNDICE PMV .....	53
<b>4.11. GRAUS HORAS DE DESCONFORTO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.12. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1. CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>62</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Formas de transferência de calor [18] .....	4
Fig.2 - Valores para diferentes atividades metabólica [20] .....	4
Fig.3 - Figura adaptada de [7].....	7
Fig.4 - Limites aceitáveis de conforto adaptado de [7].....	7
Fig.5 - Solstício de Verão e Inverno [5] .....	8
Fig.6 - Esquema de radiação nas fachadas de um edifício no Verão e Inverno [19] .....	9
Fig.7 - Fluxo de ar por ação do vento [9].....	12
Fig.8 - fluxo de ar devido à temperatura [9] .....	12
Fig.9 - Edifício histórico intervencionado (CIMI) .....	15
Fig.10 - Ampliação através de um novo edifício com uma linguagem arquitetónica contemporânea .....	16
Fig.11 - Modelo do CIMI no DesignBuilder.....	16
Fig.12 - Zona de localização do primeiro sensor no interior do rés-do-chão do edifício antigo.....	17
Fig.13 - Localização do aparelho no interior da sala .....	18
Fig.14 - Localização do sensor no interior do escritório do piso 1 do edifício antigo .....	18
Fig.15 - Interior do escritório e localização do sensor no piso 1 .....	19
Fig.16 - Localização do sensor no interior da sala comum do piso 2 .....	19
Fig.17 - Tipologia de paredes encontradas no piso 2 do edifício antigo .....	20
Fig.18 - Identificação do tipo de paredes no piso 2 do edifício antigo .....	21
Fig.19 - Sala comum no piso 2 e localização do sensor .....	21
Fig.20 - Localização do sensor no interior do edifício novo junto à receção.....	22
Fig.21 - Interior do compartimento no edifício novo e colocação do medidor .....	23
Fig.22 - Localização do aparelho no interior do auditório do piso 0 do edifício novo .....	23
Fig.23 - Interior do auditório com indicação da localização do sensor.....	24
Fig.24 - Localização do aparelho no interior do piso 1 do edifício novo .....	25
Fig.25 - Interior do piso 1 no edifício novo com indicação da localização do sensor .....	26
Fig.26 - Localização do sensor no exterior do edifício antigo .....	26
Fig.27 - Representação geométrica do CIMI no DesignBuilder .....	28
Fig.28 - Separador “activity” no DesignBuilder onde se pode escolher o tipo de ocupação, taxa de metabolismo, entre outros parâmetros .....	29
Fig.29 - Selecionou-se a opção “Standing/walkink/Light office work” para a atividade metabólica .....	29
Fig.30 - Temperaturas do ar interior para a zona 1 no rés-do-chão do edifício antigo.....	31
Fig.31 - Temperaturas do ar interior para a zona 2 no 1º andar do edifício antigo .....	31

Fig.32 - Temperaturas do ar interior para a zona 3 no último andar do edifício antigo .....	31
Fig.33 - Temperaturas do ar interior para a zona 4 no rés-do-chão do edifício novo .....	32
Fig.34 - Temperaturas do ar interior para a zona 5 no auditório do rés-do-chão do edifício novo .....	32
Fig.35 - Temperaturas do ar interior para a zona 6 no segundo piso do edifício novo .....	33
Fig.36 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês junho em relação ao valor de referência .....	34
Fig.37 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês julho em relação ao valor de referência .....	34
Fig.38 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês agosto em relação ao valor de referência .....	35
Fig.39 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês setembro em relação ao valor de referência ..	35
Fig.40 - Mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.....	36
Fig.41 - Mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.....	36
Fig.42 - Mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.....	36
Fig.43 - Mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	37
Fig.44 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês junho em relação ao valor de referência .....	37
Fig.45 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês julho em relação ao valor de referência .....	38
Fig.46 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês agosto em relação ao valor de referência .....	38
Fig.47 - Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês setembro em relação ao valor de referência ..	38
Fig.48 - Zona 2, mês de junho com Variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	39
Fig.49 - Zona 2, mês de julho com Variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .	39
Fig.50 - Zona 2, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	40
Fig.51 - Zona 2, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	40
Fig.52 - Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência .....	41
Fig.53 - Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência .....	41
Fig.54 - Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência .....	41
Fig.55 - Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência .....	42
Fig.56 - Zona 3, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.	42
Fig.57 - Zona 3, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo ..	42
Fig.58 - Zona 3, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	43
Fig.59 - Zona 3, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	43

Fig.60 - Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência .....	44
Fig.61 - Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência .....	45
Fig.62 - Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência .....	45
Fig.63 - Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência .....	45
Fig.64 - Zona 4, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.	46
Fig.65 - Zona 4, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo..	46
Fig.66 - Zona 4, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	47
Fig.67 - Zona 4, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	47
Fig.68 - Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência .....	48
Fig.69 - Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência .....	48
Fig.70 - Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência .....	49
Fig.71 - Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência .....	49
Fig.72 - Zona 5, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.	50
Fig.73 - Zona 5, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo..	50
Fig.74 - Zona 5, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	50
Fig.75 - Zona 5, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	51
Fig.76 - – Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência .....	52
Fig.77 - Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência .....	52
Fig.78 - Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência .....	52
Fig.79 - Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência .....	53
Fig.80 - Zona 6, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo.	53
Fig.81 - Zona 6, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo..	54
Fig.82 - Zona 6, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo	54

Fig.83 - Zona 6, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo .....	54
Fig.84 - Gráfico com os graus hora de desconforto acumulados durante os quatro meses de referência para a estação de arrefecimento .....	55
Fig.85 - Sombreamento no edifício novo às 15h do dia 15 de julho com as dimensões da pala proposta .....	57
Fig.86 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 1.....	58
Fig.87 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 2.....	58
Fig.88 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 3.....	58
Fig.89 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 4.....	59
Fig.90 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 5.....	59
Fig.91 - Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 6.....	59
Fig.92 - Curvas da variação da temperatura do ar interior para a simulação original e para a proposta de intervenção .....	60

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 – Índice de resistência térmica para vários tipos de vestuário .....	5
Quadro 2 - Níveis de intensidade utilizado nos ensaios de Fanger.....	6
Quadro 3 - Classes de inércia térmica .....	10
Quadro 4 - Constituição das paredes tipo A, S e U .....	20
Quadro 5 - Constituição da parede do auditório no rés-do-chão do novo edifício .....	24
Quadro 6 - Constituição da parede no primeiro andar do edifício novo.....	25
Quadro 7 - Percentagem de renovações horárias do ar por escalas horárias .....	57



## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

REH – Regulamento do desempenho energético de edifícios de habitação

RECS – Formação em edifícios de comércio e serviços

$t_r$  – Temperatura média radiante

$v_a$  – Velocidade do ar

$p_a$  – humidade do ar

$T_a$  – Temperatura do ar ambiente

$T_{mr}$  – Temperatura média radiante

$T_{op}$  – Temperatura operativa

HR – Humidade relativa

PMV – Predicted mean vote ou voto médio previsto

PPD – Predicted percentage dissatisfied ou percentagem previsível de insatisfeitos

GhDT – Graus hora de desconforto

$C_f$  – Fator forma

$S_e$  - Área da superfície exterior

$V$  – Volume

$I_t$  – Inércia térmica ( $\text{Kg/m}^2$ )

$MS_i$  - Massa superficial útil do elemento  $i$ , [ $\text{Kg/m}^2$ ]

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$ , [ $\text{m}^2$ ]

$A_p$  – Área interior útil de pavimento, [ $\text{m}^2$ ]

$g_{L,vi}$  – Fator Solar

CIMI – Centro Interpretativo da Máscara Ibérica





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA

São várias as iniciativas globais no sentido de criar um ambiente mais sustentável com incentivos à redução do consumo de energia por parte dos utilizadores. Estas medidas refletem-se cada mais vez nos edifícios públicos e privados com medidas que limitam a utilização da energia fóssil e incentivam à utilização de energias renováveis e/ou medidas passivas que otimizam e tentam equilibrar os gastos de energia com os ganhos energéticos.

Exemplo disso é o aparecimento de movimentos como a *Norma PassivHaus*, assim como a adoção de medidas obrigatórias como é o caso do *nZEB*, que cita que o parque edificado deve progressivamente ser composto por edifícios com necessidades quase nulas de energia, isto é, o balanço energético terá de ser próximo de zero.

Contudo, nem sempre os regulamentos estão afinados ao ponto de atingirem o balanço energético desejado, sendo que por vezes as preocupações incidem no aumento do isolamento térmico para evitar gastos na estação de aquecimento e depois essa poupança é gasta para arrefecer o ambiente durante o Verão com ar condicionado devido ao sobreaquecimento. Isso resulta do facto das pessoas, como utilizadores dos edifícios, procurarem sempre formas de atingir o conforto térmico adequado ao seu estilo de vida.

Na reabilitação, devido a incompatibilidades arquitetónicas ou falta de legislação, esta preocupação torna-se mais vincada na construção pois nem sempre é possível atingir níveis de conforto térmico ideais sem que a arquitetura seja comprometida.

A utilização de grandes vãos envidraçados que favorecem os ganhos solares, apenas contribuem para o desconforto térmico do utilizador obrigando à utilização de sistemas de ar condicionado. Outro parâmetro importante a considerar no dimensionamento de um edifício é a sua inércia. Hoje os edifícios têm uma envolvente tão isolada que dificulta a dissipação dos ganhos internos e/ou solares contribuindo para o aquecimento do seu interior.

Como forma de reduzir os gastos desnecessários com o arrefecimento e com isso atingir o nível ideal de conforto térmico, é necessário considerar medidas que evitem o sobreaquecimento do ar interior. Uma das principais formas de o fazer é controlar os ganhos internos e/ou solares através de uma boa proteção solar e também da utilização de ventilação noturna.

Este trabalho, surgiu não só da necessidade de analisar casos reais com arquiteturas diferentes, mas também de perceber como as suas diferentes características influenciam o sobreaquecimento do ar interior e consequentemente o conforto térmico do utilizador.

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

É indiscutível que o futuro da indústria da construção passa pela reabilitação do património construído e num período em que as exigências energéticas são cada vez maiores contrastando com um período de contingência económica, nem sempre as intervenções favorecem o conforto térmico do utilizador.

O presente trabalho tem como objetivo, a avaliação do efeito de intervenções de reabilitação de edifícios no que diz respeito ao seu desempenho térmico, principalmente no que diz respeito ao risco de serem atingidas temperaturas desconfortavelmente elevadas no seu ambiente interior.

Para isso, foi avaliado um edifício recentemente reabilitado com dois tipos de intervenções. A primeira intervenção consistiu na recuperação do edifício existente, mantendo-se grande parte das suas características originais. A segunda intervenção resultou na expansão do edifício existente através da criação de um novo volume completamente novo e mais contemporâneo.

A partir da análise paramétrica foi possível obter resultados que provam como arquiteturas distintas, têm comportamentos térmicos diferentes que podem favorecer ou prejudicar a conforto térmico do utilizador.

## **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos.

No capítulo 1, faz-se uma breve introdução ao tema, definem-se os objetivos e a estrutura desta dissertação.

No capítulo 2, faz-se referência aos fatores que influenciam o conforto térmico de edifícios, entre outros parâmetros que mais influenciam o sobreaquecimento como a inércia térmica, o sombreamento e a ventilação.

No capítulo 3, faz-se uma breve caracterização do caso de estudo e identificação das zonas do edifício a monitorizar com referência à localização dos sensores.

No capítulo 4, procede-se ao estudo paramétrico e à identificação da ferramenta de cálculo a utilizar, o DesignBuilder. Numa primeira fase, faz-se uma validação de resultados a partir do cruzamento de dados reais com os dados obtidos pelo DesignBuilder, e por último é feita uma simulação com os dados genéricos da ferramenta de cálculo para todos meses da estação de arrefecimento. No final são analisados os resultados e é proposta uma solução mais eficiente para o conforto térmico.

Por último, no capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões decorrentes dos resultados obtidos pela simulação e são propostas recomendações que favorecem o conforto térmico para o caso de estudo analisado.

# 2

## CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS

### 2.1. DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Inicialmente pensados para servir de abrigo, há muito que os edifícios se estabeleceram como estruturas para conferir conforto ao utilizador. O conforto térmico é uma apreciação de cariz um pouco abstrata. Contudo pode ser entendido como um processo cognitivo influenciado por processos físicos, fisiológicos ou mesmo psicológicos sendo que o resultado depende de várias variáveis como o vestuário, o estado de saúde, a atividade desenvolvida pelo indivíduo e o tipo de clima onde se encontra envolvido, húmido ou quente, temperado ou frio. [3]

Segundo ASHRAE Fundamentals, a principal exigência ao nível do conforto térmico é equilibrar as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, e conservar a temperatura no interior do corpo a cerca de  $37,0 \pm 0,8$  °C (no cérebro), quaisquer que sejam as variações das condições ambientais. [5]

Em suma, o conforto térmico é o estado de espírito do ser humano para o qual encontra um equilíbrio entre o frio e o calor, nem frio nem quente [6].

### 2.2. TRANSMISSÃO DE CALOR – COMPORTAMENTO TÉRMICO

Os principais mecanismos de trocas de calor são a convecção, a condução e a radiação.

Na **convecção**, o calor é transmitido para o ambiente através de partículas que se movimentam de um lado para o outro sendo que a velocidade do vento acelera o processo de convecção.

A **condução** é a transmissão de calor de um elemento em contacto direto com outro elemento. Este fluxo de energia pode ser variável consoante o coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais.

A **radiação** é o mecanismo de troca de calor através de ondas eletromagnéticas no meio onde se encontra o elemento sem que haja contacto direto. Pelo facto de não haver contacto entre os elementos, este processo depende da capacidade de emitir e de absorver energia térmica [3].

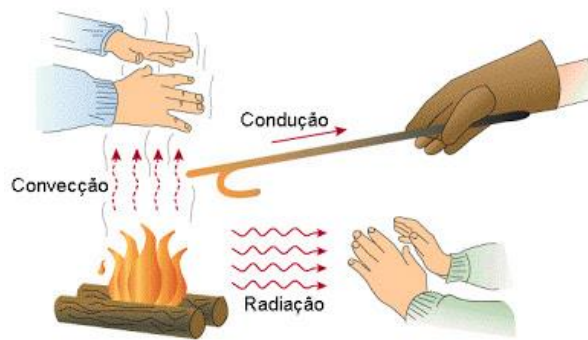


Fig. 1 – Formas de transferência de calor [18]

## 2.3. VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA DO CONFORTO TÉRMICO

### 2.3.1. PARÂMETROS INDIVIDUAIS - TAXA DE METABOLISMO E EFEITO DO VESTUÁRIO

O balanço térmico, são as trocas de calor de um indivíduo com o meio ambiente e é diretamente influenciado por parâmetros físicos que podem ser individuais ou ambientais.

A quantidade de energia produzida pelo homem é influenciada pelos alimentos consumidos a partir do metabolismo e pela atividade física que este exerce. No entanto apenas uma percentagem dessa energia é convertida em trabalho mecânico, sendo que o resto se transforma em calor.

Por forma a quantificar essa energia, foi criado o conceito de taxa de metabolismo,  $M$ , que pode ser expressa em met e  $W/m^2$ .

Tradicionalmente, 1 Met equivale a  $58,15 W/m^2$  de superfície do corpo. Uma pessoa corresponde a uma média de  $1,7 m^2$ , e uma pessoa com 1Met de atividade atinge uma perda de calor de aproximadamente 100 W.

De seguida estão indicados alguns valores de referência de taxas de metabolismo para algumas atividades mais comuns. Segundo a norma ISO 7730:2005, o valor mais baixo atingível são 0,8Met (deitado) e o máximo atingível a partir de exercício físico intenso são 10Met.

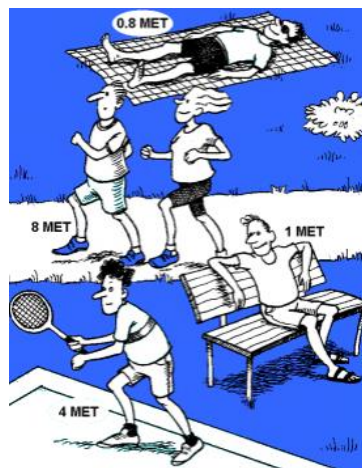


Fig.2 – Valores para diferentes atividades metabólica [20]

O valor de referência para um dia normal de trabalho são 1,2 Met. [4]

O tipo de vestuário influencia a perda de calor pelo que será conveniente atribuir uma classificação conforme o isolamento térmico que cada peça de roupa proporciona. A unidade utilizada é o *clo* que corresponde ao Índice de resistência térmica,  $I_{cl}$ , e tem um valor igual a 0,155 m<sup>2</sup>/W.

Quadro 1 – Índice de resistência térmica para vários tipos de vestuário

Vestuário	Índice de resistência térmica – $I_{cl}$ (clo)
Meias	0,02
Roupa interior	0,03
Sapatos	0,04
Camisa	0,20
Calças	0,25

### 2.3.2. PARÂMETROS AMBIENTAIS – AVALIAÇÃO DO CLIMA INTERIOR

Para a avaliação do clima interior, o homem não sente a temperatura do compartimento. Sente apenas a perda de calor do seu corpo para o ambiente. Os parâmetros indicados a seguir, afetam diretamente a perda de calor:

$t_a$  – temperatura do ar ambiente

$t_r$  – temperatura média radiante

$v_a$  – velocidade do ar

$p_a$  – humidade do ar

Existem outros parâmetros de carácter mais subjetivo que também condicionam a perceção do conforto térmico num dado ambiente. São eles, a idade, peso, altura, sexo, raça, hábitos alimentares, atividade física, etc.

### 2.4. TEMPERATURA OPERATIVA

A temperatura operativa é um índice muito utilizado na análise do conforto térmico, e é conhecida como uma “temperatura resultante” pois é o resultado da combinação de três variáveis importantes no conforto térmico. A temperatura do ar, temperatura média radiante e velocidade do ar.

Esta pode ser resumidamente definida a temperatura uniforme de um local fictício para o qual um indivíduo sofre perdas por radiação e convecção iguais às que sofre num local real, onde as condições não são uniformes [5].

Na generalidade, a temperatura operativa é dada pela seguinte expressão, em que  $A$  é função da velocidade do ar:

$$T_{op} = AT_a + (1 - A)T_{mr} \quad (1)$$

em que:

$T_a$  Temperatura do ar ambiente

$T_{mr}$  Temperatura média radiante

Para o nosso caso, ou seja, para velocidades do ar correntes ( $<0,2$  m/s), basta considerar a média entre a temperatura média radiante e a temperatura ambiente [5].

A temperatura média radiante,  $T_{mr}$ , pode ser interpretada como a temperatura uniforme das superfícies que envolvem um espaço fictício, em que a transferência de calor por radiação entre este espaço e um ocupante, é o resultado da soma das transferências de calor por radiação não uniformes das superfícies que envolvem um espaço real [5].

#### 2.4.1. PMV

Fanger, desenvolveu este índice centrado no corpo humano e não no meio ambiente. O objetivo é definir o estado de conforto térmico em termos físicos através da combinação de fatores individuais (atividade e vestuário) e fatores ambientais ( $T_a$ ,  $T_{mr}$ ,  $HR$ ,  $v_a$ ), recorrendo a votos de um conjunto de pessoas [6]. Este método chama-se modelo PMV.

A escala utilizada nos ensaios, corresponde à referência do ASHRAE e é constituída por sete níveis de intensidade.

Quadro 2 – Níveis de intensidade utilizado nos ensaios de Fanger

Muito quente	+3
Quente	+2
Ligeiramente quente	+1
Neutro	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

#### 2.4.2. PPD

Por forma a estimar a quantidade de pessoas que não estavam satisfeitas no ambiente em análise foi criada a percentagem previsível de insatisfeitos, PPD, que prevê o número de pessoas insatisfeitas para uma determinada sensação térmica [5].

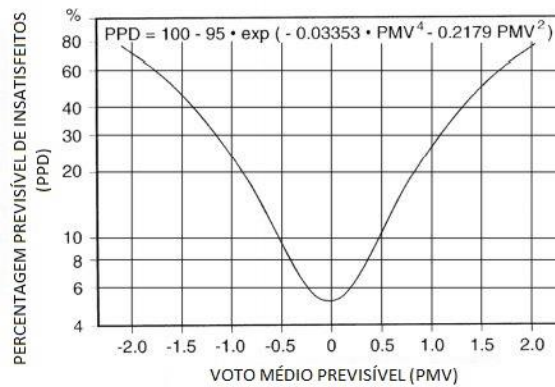


Fig. 3 - Figura adaptada de [7]

Para fazer face às diferentes preferências de cada indivíduo foi estabelecida uma percentagem mínima de utilizadores insatisfeitos de 5%, uma vez que é impossível agradar igualmente a todos.

Concluiu-se, que para condições aceitáveis de conforto térmico, os valores de PMV situam-se entre -0,5 e +0,5 e valores de PPD inferiores a 10%. [5]

Segundo a Norma Americana ASHRAE 55:2010 [7] e Norma Europeia EN 15 251:2007, desenvolveu-se um modelo que relaciona a temperatura interior, ou a gama de temperaturas aceitáveis com a temperatura do meio ambiente exterior, em que as simulações ocorrem durante a estação de arrefecimento em edifícios com ventilação natural, e os utilizadores têm hábitos sedentários e são livres de escolher o vestuário adaptado às suas necessidades [5].

A partir de alguns estudos, foi sugerido um modelo de cálculo para a temperatura ótima de conforto em função da temperatura exterior [9].

$$T_{conf} = aT_{a,ext} + b \quad (2)$$

A figura seguinte define os limites aceitáveis da temperatura operativa de conforto em função dos valores da temperatura média mensal do ar exterior.

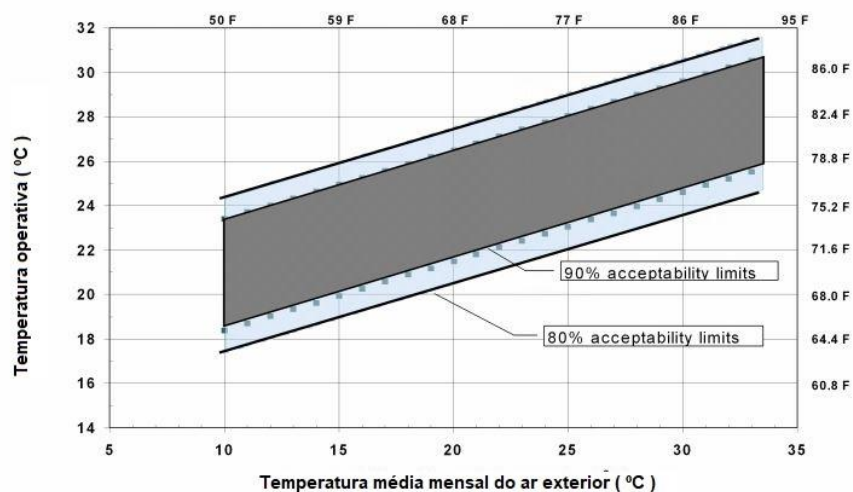


Fig. 4 – Limites aceitáveis de conforto adaptado de [7]

## 2.5. GRAUS HORA DE DESCONFORTO

Um índice paramétrico para análise do conforto térmico são os graus-hora de desconforto.

Graus hora de desconforto na estação de arrefecimento, podem ser definidos como o somatório do número de graus em que a temperatura do ar interior é superior a 25°C durante períodos de uma hora. Quanto maior o somatório, pior o grau de desconforto a que os utilizadores estarão sujeitos.

## 2.6. ORIENTAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR

O sol tem uma extrema importância no conforto de um edifício, pois é possível definida a orientação do edifício, adaptar medidas que otimizem o conforto térmico em função dessa orientação.

A intensidade da radiação solar e a altura do sol variam durante o ano, sendo que a última atinge o pico máximo e mínimo no solstício de verão e inverno, respetivamente. A radiação solar pode ser direta, difusa ou refletida. Quanto menor for o ângulo que a radiação solar faz com a superfície de incidência menos potência energética esta terá. Esta depende da temperatura do ar, do grau de poluição atmosférica, da quantidade de vapor de água e da altitude do lugar onde está implantado o edifício, mais um motivo pelo qual se deve fazer um estudo detalhado do local onde se irá construir. A sua intensidade cresce, de acordo com a orientação solar, de nascente até sul e decresce de sul até poente, atingindo o seu expoente máximo a Sul e varia também ao longo do dia.

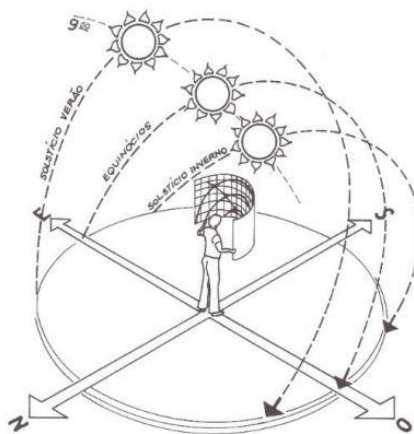


Fig. 5 - Solstício de Verão e Inverno [5]

Nem sempre é possível orientar os edifícios de forma a otimizar os ganhos térmicos tão importantes no Inverno, mas evitáveis no Verão. “Um edifício mal orientado não só é mais frio no Inverno como mais quente no Verão” [8].

Um edifício orientado a **Sul** tem ganhos térmicos solares úteis durante o Inverno, e durante a estação de arrefecimento é possível controlar os ganhos solares com sistemas de sombreamento.

Por outro lado, um edifício orientado a **nascente/poente**, o ângulo de incidência solar é tal, que se torna difícil controlar os ganhos solares.



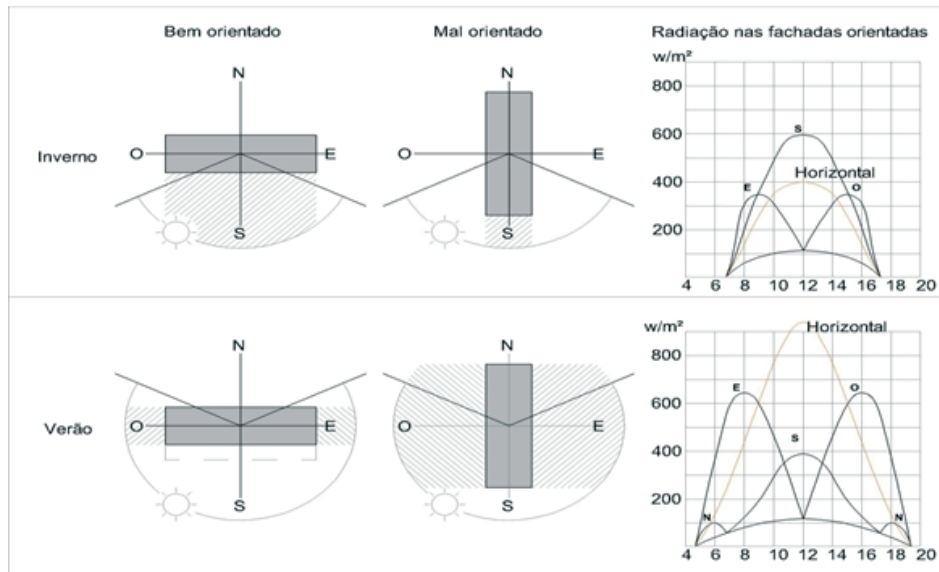


Fig. 6 – Esquema de radiação nas fachadas de um edifício no Verão e Inverno [19]

Sempre que for possível, é imprescindível seguir alguns princípios na implantação de um edifício: exposição solar no inverno, proteção contro o excesso de radiação solar no verão e proteção contra o vento.

## 2.7. FORMA DO EDIFÍCIO E ORGANIZAÇÃO INTERNA DOS COMPARTIMENTOS

A forma do edifício tem igualmente importância no contexto térmico. Quanto mais exposto o edifício, maior será o valor das perdas térmicas

O Coeficiente de forma ou Fator de Forma, é a razão entre a área da superfície exterior e o volume.

$$C_f = \frac{S_e}{V} \quad (3)$$

em que:

$S_e$  Área da superfície exterior

$V$  Volume

Numa situação ideal, o fator forma atinge um valor muito reduzido, mas a complexidade geométrica de alguns edifícios torna difícil a concretização de valores dessa ordem. Uma das formas de combater esse problema é aumentar o isolamento térmico.

Na consideração do conforto térmico, é importante que seja estabelecida uma organização espacial dos compartimentos em função do uso para o qual este se destina e dos ganhos internos.

Além disso também devem ser considerados outros parâmetros como a sua orientação, área de envidraçados e mesmo a constituição dos elementos que limitam esse espaço (paredes e revestimentos).

**Sala** – É um local de permanência prolongada, mas com ganhos internos moderados pois é utilizada na sua generalidade para relaxamento. A orientação recomendada é sul.

**Cozinha** – Ganhos internos intensos devido à utilização de eletrodomésticos e confeção de alimentos, pelo que uma solução satisfatória será a localização a nascente.

**Quartos** - Sul, é a orientação solar mais favorável sendo que dispensa gastos em aquecimento, ou arrefecimento se houver proteção solar adequada. Evitável a poente.

**Casas de banho** - São compartimentos de serviço de utilização e conforto térmico temporário limitado a um curto período de tempo, pelo que não é necessária uma orientação em função dos ganhos térmicos solares. Devem não estar orientados a sul.

**Espaços não aquecidos** – Oportunidade para servirem de espaços-tampão (caixas de escada, circulações, garagens) pelo que a orientação recomendada é a norte.

Em suma, a Norte, deve-se colocar espaços com menor tempo de permanência (lavandaria, arrecadação, casa de banho, garagem, comunicações verticais, corredores)

A Sul, devem estar orientados espaços como gabinetes, quartos e salas. (espaços com maior tempo de permanência)

## 2.8. INÉRCIA TÉRMICA

A Inércia Térmica, depende de características físicas como o calor específico e a densidade do material e avalia a capacidade de um elemento absorver o calor, e libertá-lo ao fim de algum tempo [17]. Um elemento com uma inércia forte, irá absorver o calor durante o dia e libertá-lo durante a noite, pelo que deste ponto de vista, pode-se referir a existência de um desfasamento da temperatura interior e exterior, assim como um amortecimento da variação desses mesmos valores que serão úteis para o Inverno e para o Verão. A colocação de barreiras que impeçam a troca de calor entre o ambiente interior e as superfícies dos elementos construtivos irá reduzir a inércia interior do edifício.

Uma utilização adequada da Inércia térmica garante o conforto adequado a cada estação. Durante o Inverno, permite que o calor se mantenha dentro da habitação, enquanto que no Verão evita o sobreaquecimento no seu interior.

Avaliada através da Massa Superficial Útil por metro quadrado de área de pavimento, a Inércia Térmica calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (4)$$

em que:

$M_{s_i}$  - Massa superficial útil do elemento  $i$ , [Kg/m<sup>2</sup>]

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$ , [m<sup>2</sup>]

$A_p$  – Área interior útil de pavimento, [m<sup>2</sup>]

Quadro 3 – classes de inércia térmica

Classe de Inércia Térmica	$I_t$ [Kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Fraca</b>	$I_t < 150$
<b>Média</b>	$150 \leq I_t \leq 400$
<b>Forte</b>	$I_t > 400$

## 2.9. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Nos dias que correm, a reabilitação é um dos focos principais da indústria da construção e isso traz novos desafios para a construção, principalmente nos centros históricos onde é importante manter a arquitetura das fachadas principais e minimizar o impacto paisagístico de todas as intervenções. Entre essas intervenções estão as janelas. Antigamente era usual a utilização de madeira para a sua construção, mas devido ao seu estado de conservação (frinchas, fissuras e elevada permeabilidade ao ar), torna-se necessária a sua alteração ou reparação para janelas mais estanques, sem que isso comprometa a linha arquitetónica da fachada.

Contudo, esse compromisso nem sempre favorece o conforto térmico, na medida em que fatores solares elevados favorecem os ganhos solares indesejáveis durante a estação de arrefecimento, provocando deste modo um sobreaquecimento interior no edifício.

Estes elementos, requerem uma especial atenção no que toca a trocas térmicas com o exterior, seja por condução, ganhos solares ou por ventilação [10].

## 2.10. FATOR SOLAR

Segundo o REH, O fator solar ( $g_{L,vi}$ ), “*É a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente.*” [Decreto Lei 118\_2013 - REH]

É uma característica importante em vãos envidraçados e que depende do tipo de vidro e da relação superfície envidraçada/superfície de perfis podendo ser controlado através da presença de dispositivos de sombreamento e proteção solar.

Na generalidade dos vidros, o valor pode variar entre 0,35 e 0,88, sendo que menores valores significam menores ganhos solares.

## 2.11. SOMBREAMENTO

A radiação solar incidente é uma das principais variáveis influenciáveis na térmica de edifícios. Durante a fase de implantação deve ter-se como objeto de estudo, a minimização da radiação solar no verão para evitar sobreaquecimento. Apesar da altura do Sol ser mais alta do que no Inverno, é importante proteger as superfícies expostas às radiações a partir de elementos de sombreamento. No Inverno, em que a altura do sol é baixa, os ganhos solares são úteis e o indevido sombreamento de uma fachada a sul anularia potenciais benefícios desta orientação.

## 2.12. VENTILAÇÃO

A ventilação consiste na troca de ar do interior de um compartimento pelo ar proveniente do exterior (na generalidade dos casos) mais fresco e eventualmente mais limpo. Quando as trocas ocorrem acidentalmente através de caminhos de ar, o processo designa-se por fluxo de infiltração. Quando o movimento do ar é intencional através de trajetos definidos para o efeito, o processo designa-se por fluxo de ventilação [13].

A ventilação natural é uma consequência direta das diferenças de temperatura e do vento que podem variar conforme o tempo, localização, orientação, velocidade do vento, etc. O vento ao atingir um edifício provoca pressões positivas na fachada de incidência direta e pressões negativas na fachada

oposta, contribuindo para um efeito de circulação do ar do sentido da pressão positiva para a pressão negativa [9].

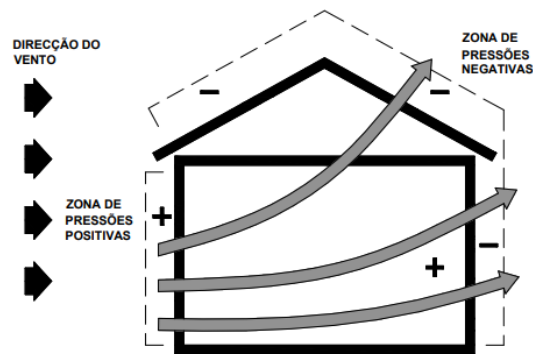


Fig. 7 - Fluxo de ar por ação do vento [9]

O ar quente e húmido é mais leve que o ar frio e seco. Desta forma, fluxo de ar movimenta-se do interior, geralmente mais quente e húmido, para o exterior. O ar frio entra pelas partes mais baixas do compartimento, enquanto que o ar mais quente é expelido por aberturas localizadas em pontos mais altos. A diferença de temperatura e a resistência ao fluxo ao longo do caminho irão determinar o nível de pressão neutra que é o ponto para o qual a diferença de pressão é zero [9].

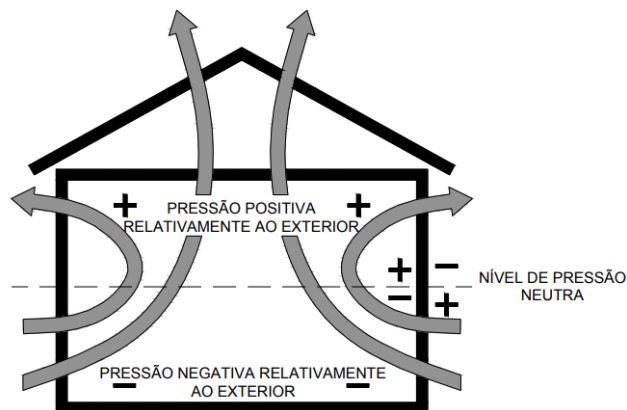


Fig. 8 – fluxo de ar devido à temperatura [9]

A ventilação varia conforme a permeabilidade de cada edifício e antigamente a existência de janelas pouco estanques favorecia o processo devido à sua permeabilidade alta e também pela sua abertura voluntária, contudo isso não permitia um controlo do sistema. Atualmente, melhorias no processo construtivo, e em muitos casos de reabilitação, a troca de janelas por outras mais estanques levam a que sejam adotadas medidas específicas para favorecer a circulação controlada do ar.

É importante dotar os edifícios de dispositivos de admissão e extração de ar a fim de promover o fluxo de entrada e saída de ar “novo”.

As aberturas de ar podem ser:

- Grelhas reguláveis – dispositivos de admissão para passagem de ar que pode ser regulável onde se pode regular o caudal manualmente.

- Grelhas autorreguláveis - dispositivos de admissão que funcionam com base na velocidade do vento. Ajustam automaticamente o caudal segundo a diferença de pressão entre o interior e o exterior. Caso exista um diferencial positivo, esta ajusta a área de passagem de ar para garantir um caudal constante, no caso de existir um diferencial de pressão negativo, esta fecha completamente.

A ventilação natural tem um impacto importante no arrefecimento dos edifícios. Além de reduzir os consumos de energia para arrefecimento, melhora as condições de conforto térmico dos ocupantes pois renova o ar interior e cria uma sensação de frescura através dos mecanismos de convecção, radiação e transpiração.

Quando a temperatura interior é inferior à temperatura superficial da pele, o calor é retirado do corpo através da convecção. Já a diminuição da temperatura superficial da envolvente opaca provoca a perda de calor dos ocupantes para esses elementos por efeito de radiação. A ventilação noturna contribui eficazmente para este efeito.



# 3

## CASO DE ESTUDO

### 3.1. CENTRO INTERPRETATIVO DA MÁSCARA IBÉRICA

Como caso de estudo, foi analisado um recente caso de intervenção no Museu do Entrudo - Centro Interpretativo da Máscara Ibérica - em Lazarim, concelho de Lamego.



Fig. 9 - Edifício histórico intervencionado (CIMI)

Criado a partir uma antiga oficina artesanal de máscaras, este edifício sofreu duas importantes intervenções. A primeira teve como ponto de partida a reabilitação do edifício histórico existente e manter tanto quanto possível, as características originais do mesmo. As paredes exteriores existentes foram mantidas e recuperadas enquanto que no interior procedeu-se à criação de paredes novas. As lajes de pavimento e cobertura, também são novas e constituídas essencialmente por madeira. Numa segunda fase, procedeu-se à ampliação e criação de um novo volume, fisicamente autónomo do primeiro, mas ambos articulados através de dois corpos transparentes.



Fig. 10 - Ampliação através de um novo edifício com uma linguagem arquitetônica contemporânea

Atualmente o conjunto de edifícios, serve como espaço para exposições artesanais, mostra de usos e costumes e um espaço exterior para receber atividades ao ar livre. O último piso do edifício histórico, serve como unidade habitacional com três quartos e destina-se a acolher visitantes que estejam relacionados com atividades desenvolvidas pelo museu.

O objetivo deste estudo é estudar o impacto ao nível do conforto térmico num edifício tradicional que sofreu intervenções com o mínimo de impacto possível no conceito arquitetónico original em contraste com um novo volume criado de raiz com uma arquitetura mais contemporânea.

### **3.2. MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO EDIFÍCIO**

Para avaliar a tendência para sobreaquecimento do estudo de caso, optou-se por utilizar o programa DesignBuilder. Através da modelação do edifício, é possível detalhar com rigor as características do modelo em análise, como espessura dos elementos, propriedade térmicas e natureza dos materiais, ventilação, condições ambientais envolventes, entre outras variáveis que têm influência nas condições de conforto térmico.

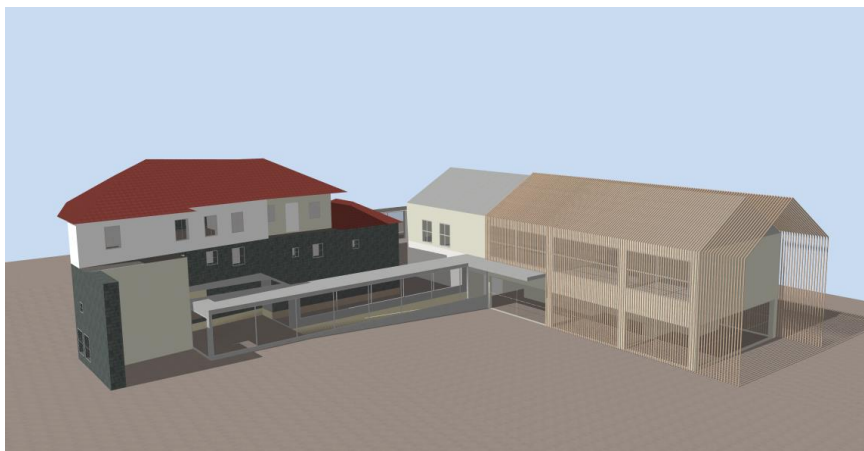


Fig. 11 – Modelo do CIMI no DesignBuilder



O DesignBuilder permite obter uma simulação energética dinâmica, contudo para validação dos seus resultados, optou-se por monitorizar o edifício entre 19 de maio a 30 de junho através da colocação de sensores de recolha de temperatura do ar interior em diferentes compartimentos. A opção pela colocação de um sensor no exterior, permitiu recolher as temperaturas do ar exterior para a criação de um ficheiro climático que serviu de “input” para o DesignBuilder correr simulações de temperaturas nos vários compartimentos do edifício. Assim foi possível comparar estes resultados com os dados previamente recolhidos no local, como será demonstrado no capítulo 4.

### **3.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E LOCALIZAÇÃO DE SENSORES**

Notoriamente um edifício com arquiteturas que contrastam entre si, o edifício antigo é constituído em grande parte por pedra da zona, como xisto e granito que funcionam também como paredes de suporte. Na laje e cobertura foram utilizadas asnas e madres em madeira para estabilidade. As janelas são em PVC folheadas a madeira dourada com portadas pelo lado interior.

A expansão resultou num espaço contemporâneo com uma área de envidraçados bastante significativa de onde se prevê valores de fator solar elevados. Além disso, o arquiteto optou utilizar como revestimento, uma estrutura constituída por ripas de madeira a fazer lembrar um espigueiro. A comunicação entre os dois volumes é feita por um corpo transparente, com grandes vãos envidraçados, na entrada principal e nas traseiras por uma galeria com as mesmas características.

Perante o desafio de análise de dois volumes de edifícios arquitetonicamente distintos, foram escolhidos alguns compartimentos de forma a simular situações diferentes no mesmo edifício.

Instalaram-se seis aparelhos que monitorizaram a temperatura no interior e um aparelho localizado no exterior do edifício que criavam registos de 10 em 10 minutos e após recolha dos dados foi feita uma média horária para tratamento de dados.

#### **3.3.1. EDIFÍCIO ANTIGO**

##### **3.3.1.1. Zona 1 – Rés-do-chão**

No edifício histórico, foram mantidas todas as paredes existentes ao nível do rés-do-chão, 1º e 2º Andar, essencialmente constituídas por pedra de xisto e algum granito com 65cm de espessura e 35cm no 2º piso. As únicas paredes exteriores novas foram as do alçado principal viradas a sudeste.

O compartimento identificado como zona 1, é constituído unicamente por paredes de xisto e granito com aproximadamente 65cm de espessura ao longo de todo o seu perímetro, o primeiro aparelho foi instalado numa sala composta por um envidraçado de tamanho muito reduzido (50x50cm). Este envidraçado tem caixilharia em PVC e vidro duplo de 8mm e 6mm com caixa de ar entre ambos de 16 mm. Todos os compartimentos no edifício antigo, utilizam o mesmo tipo de vidro e caixilharia.

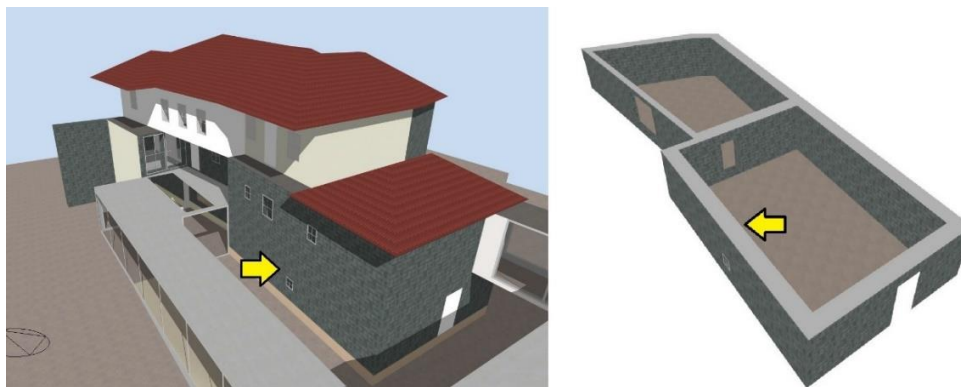


Fig. 12 – Zona de localização do primeiro sensor no interior do rés-do-chão do edifício antigo

A comunicação com os outros compartimentos dá-se por uma porta que se encontra sempre aberta. O pavimento é constituído por uma camada de brita de 24cm sobre a qual se executou uma camada de regularização com 10cm de espessura. O seu acabamento é em soalho de madeira de pinho envernizado com 2cm. O teto é preenchido com 7cm de lã de rocha sobre teto falso em gesso cartonado de 1,25cm. Os elementos estruturais utilizados na laje de cobertura são todos em madeira de pinho com uma espessura total de cerca de 30cm. A comunicação com o exterior é dada por uma porta em PVC que se encontra sempre fechada.

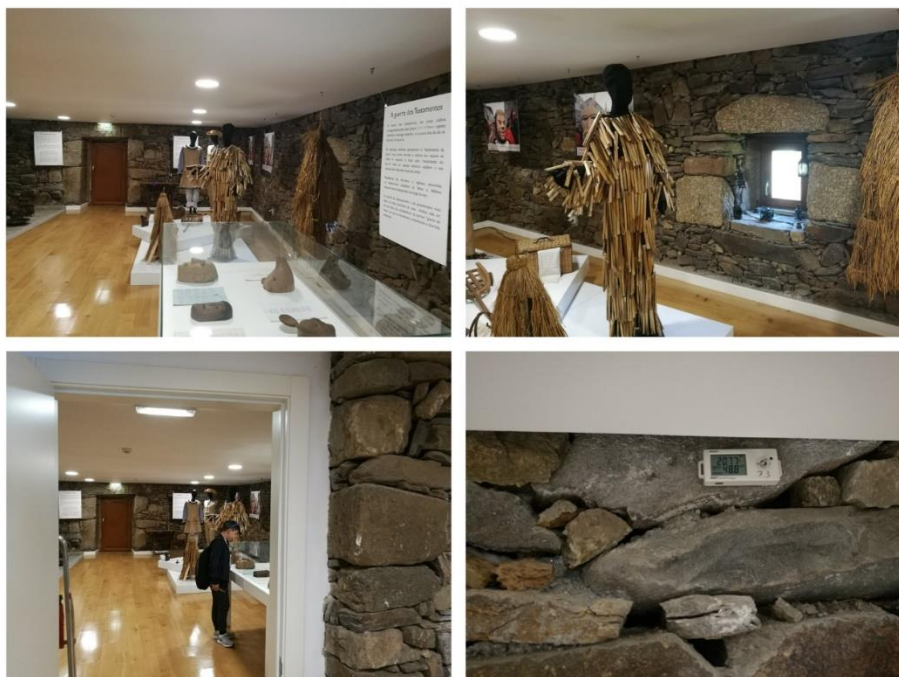


Fig. 13 – Localização do aparelho no interior da sala

### 3.3.1.2. Zona 2 – Piso 1

O segundo sensor foi instalado no segundo piso do edifício antigo. Esta fração é utilizada como escritório, apesar de raramente estar ocupado.

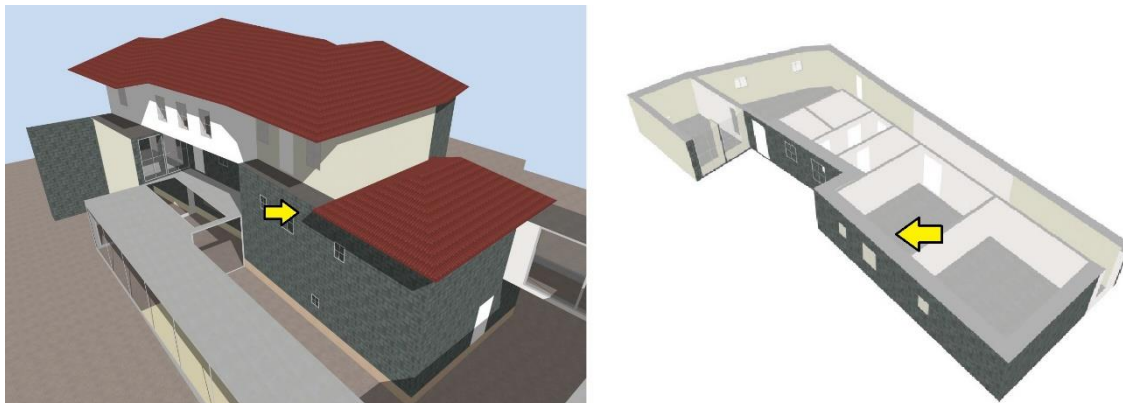


Fig. 14 – Localização do sensor no interior do escritório do piso 1 do edifício antigo

As paredes exteriores são em pedra de xisto e granito com 65cm mais reboco pelo lado interior de cerca de 3 cm. A laje de pavimento é constituída por vigas em madeira com cerca de 30cm, forradas com soalho de pinho envernizado com 2cm. O teto é forrado com 7cm de lã de rocha sob teto falso em gesso cartonado de 1,25cm. Existe ainda uma porta que faz a ligação ao corredor e uma janela em PVC com portadas pelo lado interior sempre abertas.



Fig. 15 – Interior do escritório e localização do sensor no piso 1

### 3.3.1.3. Zona 3 – Piso 2

O último piso do edifício antigo, funciona como unidade habitacional autónoma. Apresenta três quartos e uma sala comum de acesso e à semelhança dos pontos anteriores, foi o local escolhido para instalação do sensor ao mesmo nível dos restantes.

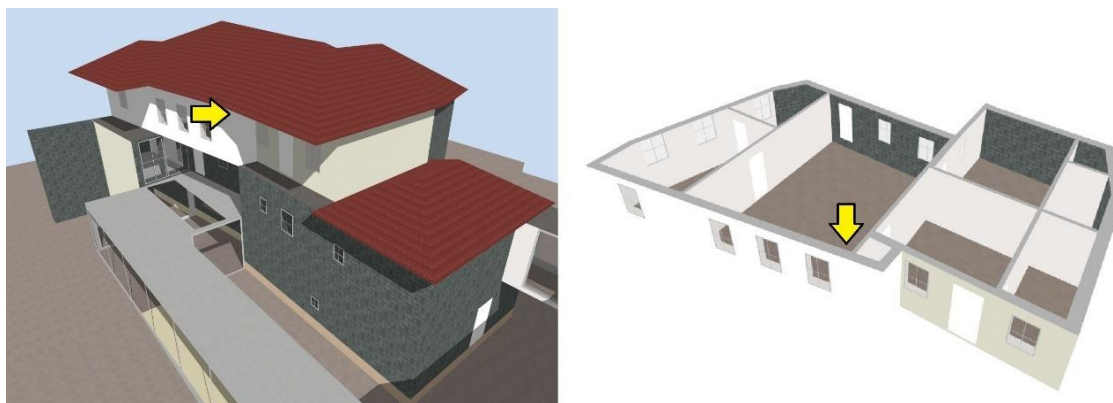


Fig. 16 – Localização do sensor no interior da sala comum do piso 2

À semelhança do piso anterior, os elementos estruturais utilizados nas lajes são todos em madeira de pinho cumprindo uma espessura total de cerca de 30cm. O revestimento do pavimento é de soalho de pinho envernizado com 2 cm. O teto é forrado com 7cm de lã de rocha sobre teto falso em gesso cartonado de 1,25cm. A cobertura à semelhança dos outros pisos, será em madeira, e a sua estrutura constituída por asnas e madres.

Neste piso, existem três tipos de paredes. Parede tipo A, tipo S e tipo U cujas propriedades se encontram no quadro seguinte.

Quadro 4 – Constituição das paredes tipo A, S e U

Parede	Componentes (sentido Interior - exterior)	Espessura (cm)
Tipo A	Reboco interior	2
	Parede de pedra	38
Tipo S	Placa dupla de gesso cartonado	1,5 x 2
	Lã de mineral	7
	Caixa de ar	13
	Viroc	1,6
	EPS	6
	Reboco	2
	Chapa de zinco lacada branca	0,2
Tipo U	Placa dupla de gesso cartonado	1,5 x 2
	Caixa de ar	23
	Lã mineral	7
	Viroc	2
	EPS	6
	Reboco	1

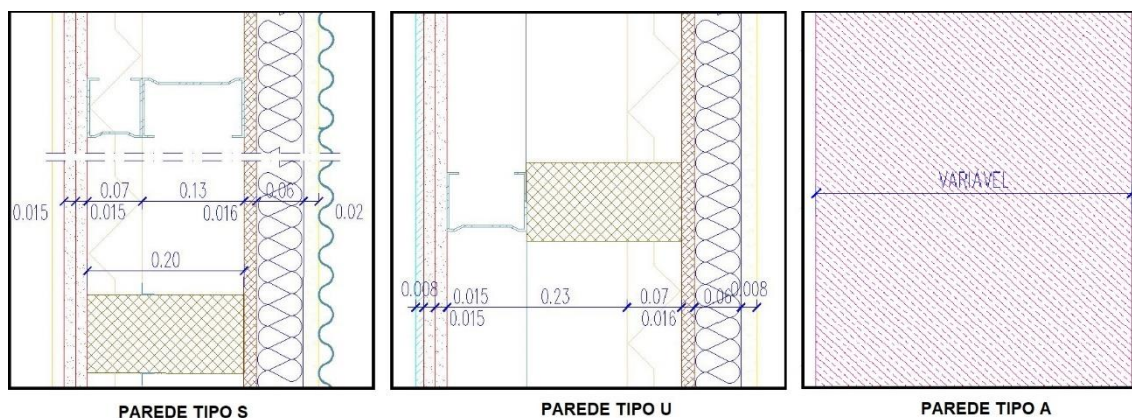


Fig. 17 – Tipologia de paredes encontradas no piso 2 do edifício antigo

No esquema seguinte é possível verificar a posição dos três tipos de panos de parede. Virado a sul e poente, encontra-se a parede do tipo S. A parede do tipo U, encontra-se repartida entre sul e nascente. Já a parede do tipo A, constituída essencialmente por pedra, apenas encontra-se unicamente virada a Norte.



Fig. 18 – Identificação do tipo de paredes no piso 2 do edifício antigo





Fig. 19 – Sala comum no piso 2 e localização do sensor

### 3.3.2. EDIFÍCIO NOVO

#### 3.3.2.1. Zona 4 – rés-do-chão

O edifício novo foi concebido para servir de museu e centro de exposições e é constituído por dois pisos mais cobertura. No piso 1, os painéis de lajes são todos maciços com espessura de 25 cm à exceção do auditório que é aligeirada com blocos de betão leve, totalizando uma espessura de 32,5cm. O pavimento é comum a todos os edifícios, ou seja, uma camada de brita de 24cm sobre a qual se executou uma camada de regularização com 10cm de espessura. O seu acabamento é em soalho de madeira de pinho envernizado com 2cm. A cobertura é toda em laje maciça com 20cm de espessura. No novo volume, as fachadas são notoriamente constituídas por vãos de envidraçados de grande dimensão, sendo que os restantes compartimentos terão paredes que variam conforme a localização e que será referenciado no ponto a seguir.

É no alçado principal que surge um corpo transparente fazendo a ligação ao edifício antigo, enquanto que a outra articulação dos dois corpos, novo e antigo, se faz a partir das traseiras do piso 1 de ambos.

O quarto sensor foi instalado no compartimento identificado como zona 4, junto à receção do edifício virado a poente.

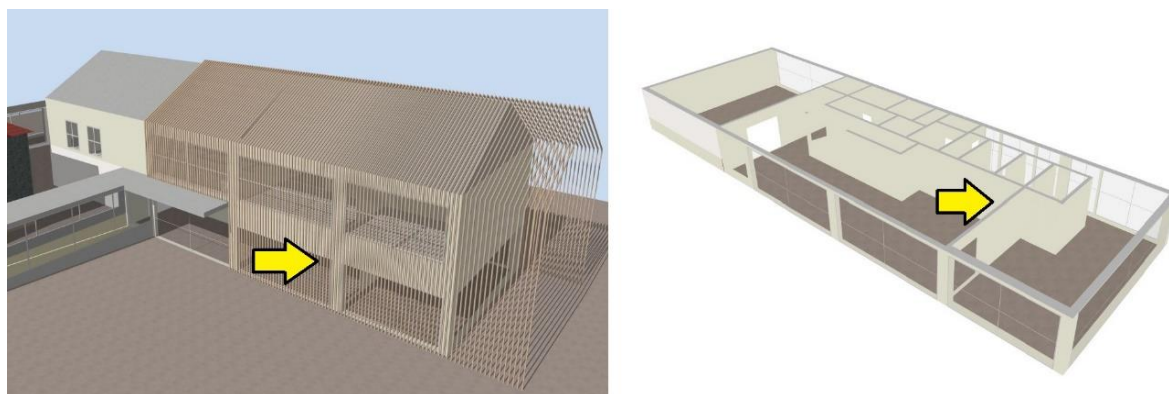


Fig. 20 – localização do sensor no interior do edifício novo junto à receção

Numa zona com uma área de envidraçados considerável, o revestimento do pavimento é em soalho de pinho com 2 cm. O teto é forrado com 7cm de lã de rocha sob teto falso em gesso cartonado de 1,25cm. O pano de parede de alvenaria é praticamente residual dadas as dimensões das janelas com folhas de cerca de 6 x 2,5 metros separadas entre si pelos pilares estruturais.

Os envidraçados são fixos e constituídos por caixilharia em PVC. O vidro é duplo e incolor com 8mm (interior) e 6mm (exterior) de espessura e uma caixa de ar entre ambos com 16mm. Todos os compartimentos do edifício novo utilizam o mesmo tipo de vidro e caixilharia.



Fig. 21 – Interior do compartimento no edifício novo e colocação do medidor

### 3.3.2.2. Zona 5 – Auditório

Orientado a norte e nascente, o auditório foi o quinto compartimento escolhido para análise.

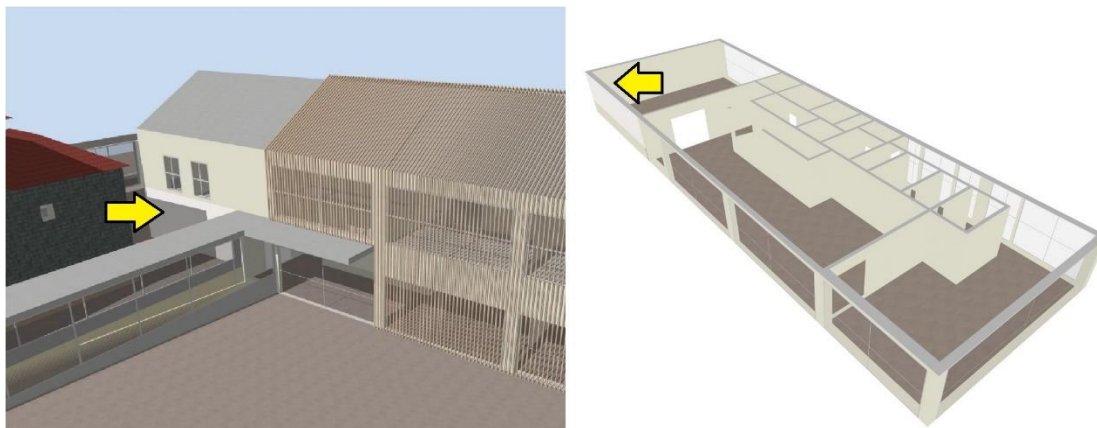


Fig. 22 - Localização do aparelho no interior do auditório do piso 0 do edifício novo

À semelhança de todos os outros compartimentos, o pavimento é revestido a soalho de pinho com 2 cm de espessura e o teto, em gesso cartonado acústico com 1,25 cm preenchido com 7 cm de lã de rocha.

A constituição da parede exterior é apresentada no quadro abaixo.

Quadro 5 – Constituição da parede do auditório no rés-do-chão do novo edifício

	Componente	Espessura (cm)
Parede tipo H	Gesso cartonado	1,25
	Lã de rocha	7
	Tijolo cerâmico	11
	XPS	6
	Espaço de ar	6
	Betão armado	20

A cobrir a totalidade da parede virada a nascente, encontra-se um vão envidraçado com cortinas pelo lado interior.





Fig. 23 – Interior do auditório com indicação da localização do sensor

### 3.3.2.3. Zona 6 – Piso 1

O último sensor foi instalado no piso 1 do novo edifício.

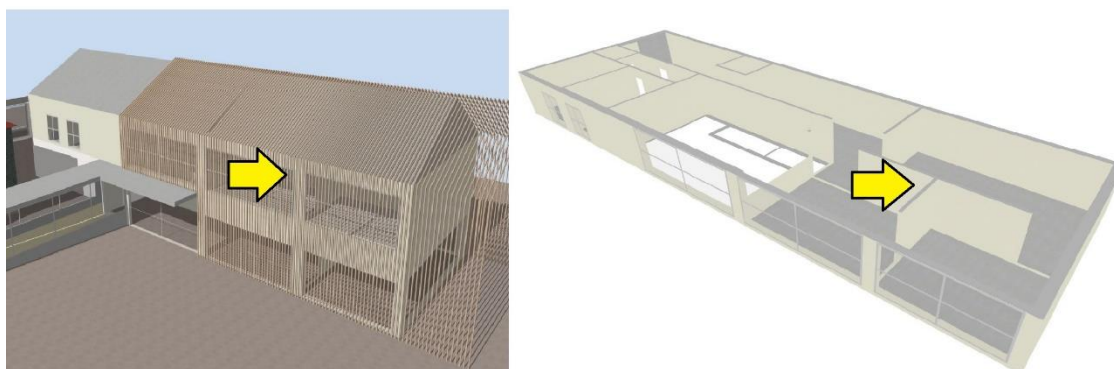


Fig. 24 - Localização do aparelho no interior do piso 1 do edifício novo.

Por funcionar como sala de exposição, praticamente todo o andar é desprovido de portas uma vez que funciona como corredor livre de acesso a espaços equipados com artefactos, caretos e utensílios tradicionais que constituem o museu.

À semelhança de todos os outros compartimentos, o pavimento é revestido a soalho de pinho com 2 cm de espessura. A cobertura é em laje maciça com 20cm de espessura sendo que o isolamento é pelo lado interior a partir do teto, em gesso cartonado com 1,25 cm preenchido com 7 cm de lã de rocha.

O sistema de parede utilizado é em parede dupla com isolamento térmico entre panos de alvenaria segundo a seguinte quadro.

Quadro 6 – Constituição da parede no primeiro andar do edifício novo.

	Componente	Espessura (cm)
Parede tipo G	Reboco (exterior)	2
	Tijolo cerâmico	11
	Espaço de ar	1
	XPS	5
	Tijolo cerâmico	15
	Reboco (interior)	2

Os vãos envidraçados cobrem praticamente a totalidade do alçado virado a poente, e o sombreamento é feito por umas cortinas de tecido claro e os vidros têm as mesmas características dos existentes na zona 4 e 5.

A cobertura é tradicional constituída por uma laje maciça de 20cm de espessura, isolamento térmico (XPS) com 5 cm e uma camada de forma de 5cm com impermeabilização pelo lado exterior.

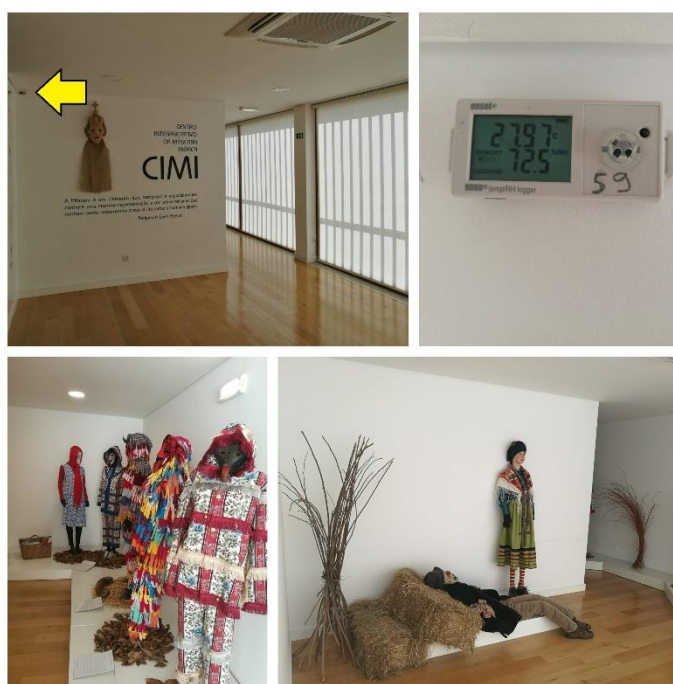


Fig. 25 – Interior do piso 1 no edifício novo com indicação da localização do sensor

### 3.3.3. CONDIÇÕES NO EXTERIOR

É importante considerar os dados climáticos registados nos dias em que se realizaram as medições. Uma vez que é praticamente impossível ajustar todas as variáveis de forma a obter uma simulação real, foi colocado um aparelho no exterior para medir valores de temperatura e perceber se as tendências após simulação são as mesmas e se os resultados não se afastam demasiado.

O local escolhido foi a varanda do último piso do edifício antigo, pois encontra-se abrigado de qualquer radiação solar que possa interferir na leitura de dados ao longo do dia.



Fig. 26 – Localização do sensor no exterior do edifício antigo



# 4

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO

### 4.1. DESIGNBUILDER

Todos os compartimentos anteriormente referidos, foram monitorizados em tempo real não só para obter registos reais de temperatura, mas também para validação dos resultados apresentados pelo software de simulação.

Para efetuar o estudo paramétrico do modelo apresentado no anterior capítulo, foi utilizado o DesignBuilder.

O DesignBuilder [14] é uma interface do programa EnergyPlus [15] que permite ao utilizador modelar edifícios e obter uma simulação energética dinâmica mais intuitiva e acessível.

A biblioteca “*Libraries*” presente no programa, fornece conteúdos que permite ao utilizador detalhar com rigor as características dos elementos constituintes de um edifício, atividades e frequências de utilização, tipo de iluminação e o sistema de climatização caso exista. Além disso, é necessário introduzir o ficheiro climático “*weather file*” que descreve os dados climáticos relativos ao ambiente que rodeia o edifício. Estes são os dados de entrada “inputs” necessários para executar a simulação.

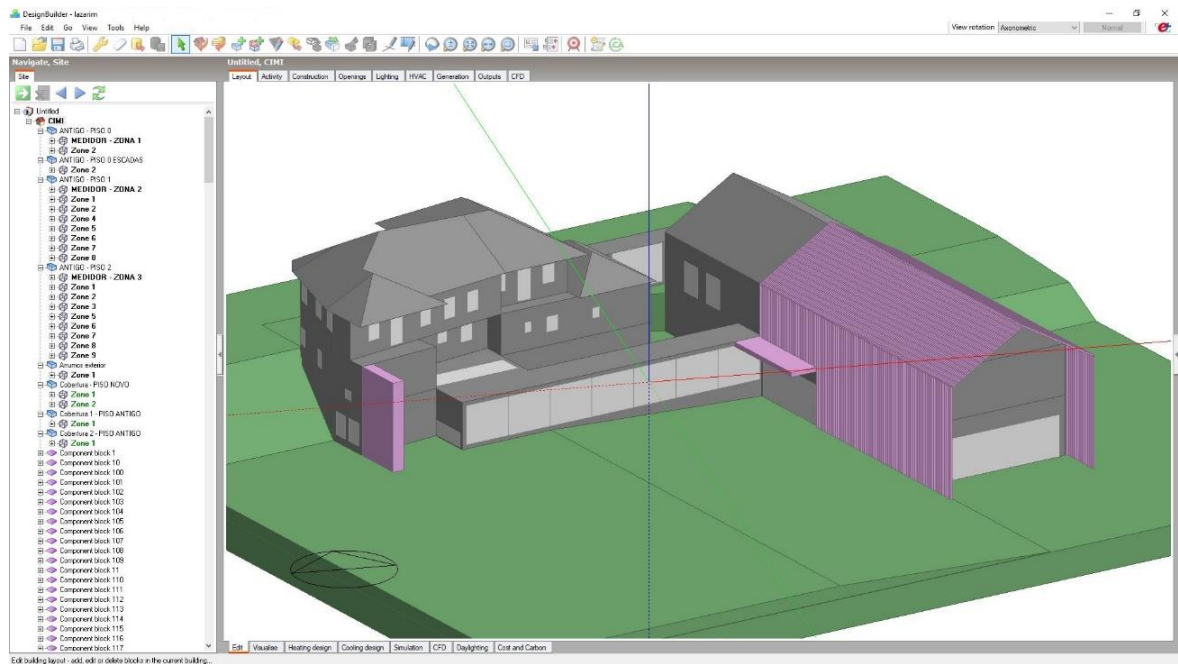


Fig.27 – Representação geométrica do CIMI no DesignBuilder

Os “outputs” são os resultados da simulação dinâmica que podem ser consultados sob a forma de tabelas ou gráficos.

## 4.2. INTRODUÇÃO DE DADOS NO DESIGNBUILDER

Para correr a simulação, tentou-se aproximar tanto quanto possível as condições de utilização do museu que podem influenciar os resultados.

Como tal, no separador ACTIVITY (fig. 28), para o museu com uma área total de implantação de 563,75m<sup>2</sup> considerou-se uma densidade ocupacional de 0,05 pessoas por metro quadrado. A justificação para este valor foi baseada no número reduzido de visitas que pouco ou nada influenciam os resultados através da taxa de metabolismo.

Para a avaliação do conforto térmico, é necessário considerar os parâmetros ambientais e individuais. Os parâmetros ambientais estão definidos no programa, mas para os parâmetros individuais foi criado um período de utilização do museu para esse efeito, de segunda a domingo das 10h às 17h, e uma atividade metabólica de 133W/pessoa, que corresponde a uma pessoa em pé parada ou a caminhar. Para o vestuário foi considerado 0,5 clo uma vez que apenas de utilizará a simulação para a estação de arrefecimento (fig. 28 e fig. 29).

Untitled, CIMI, ANTIGO - PISO 0, MEDIDOR - ZONA 1

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC Outputs CFD

Activity Template

Template CIMI - ACTIVITY

Sector D1 Non-residential Institutions - Libraries Museu

Zone type 1-Standard

Zone multiplier 1

☒ Include zone in thermal calculations

☒ Include zone in Radiance daylighting calculations

Floor Areas and Volumes

Occupancy

Occupancy density (people/m2) 0.0500

Schedule CIMI - HORÁRIO

Metabolic

Activity Standing/walking/Light office work

Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75) 0.90

CO2 generation rate (m3/s-W) 0.0000000382

Clothing

Winter clothing (clo) 1.00

Summer clothing (clo) 0.50

Generic Contaminant Generation

DHW

Environmental Control

Heating Setpoint Temperatures

Heating (°C) 20.0

Heating set back (°C) 12.0

Cooling Setpoint Temperatures

Cooling (°C) 0.0

Cooling set back (°C) 28.0

Humidity Control

Ventilation Setpoint Temperatures

Minimum Fresh Air

Lighting

Computers

☐ On

Office Equipment

☐ On

Miscellaneous

☐ On

Catering

Process

Fig. 28 – Separador “activity” no DesignBuilder onde se pode escolher o tipo de ocupação, taxa de metabolismo, entre outros parâmetros

Metabolic rates

Data Report (Not Editable)

General

Standing/walking/Light office work

Source DesignBuilder

Category Office activities

Region General

Archive

Metabolic rate per person (W/... 133,000

Fig. 29 – Selecionou-se a opção “Standing/walkink/Light office work” para a atividade metabólica

No separador HVAC, não foi considerado qualquer sistema de aquecimento ou arrefecimento. Apesar de existir, este nunca foi utilizado em nenhum momento e por isso, a única forma de ventilação avaliada foi a ventilação natural. Dado a existência de arquiteturas dispares, irão ser considerados valores diferentes que serão identificados os valores para cada caso.

Por fim, antes de correr a simulação, escolheu-se o período compreendido entre 1 de junho e 30 de setembro (estação de arrefecimento segundo o REH e RECS) e os resultados foram registados graficamente conforme se irá mostrar em seguida.

#### **4.3. MONITORIZAÇÃO “IN SITU” – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM OS RESULTADOS DO DESIGNBUILDER**

Procedeu-se à monitorização da edificação durante o período compreendido entre 19 de maio e 30 de junho.

De modo a criar um modelo com as condições o mais próximas possível das condições reais, monitorizou-se em tempo real a temperatura exterior no local, e pediu-se ao Instituto Português do Mar e Atmosfera os valores da radiação solar global da estação meteorológica mais próxima, situada em Moimenta da Beira, a 20 km do local.

A monitorização da temperatura exterior a partir de um sensor, permitiu criar um ficheiro climático com esses dados e inseri-los no programa DesignBuilder.

Uma vez que existem muitas outras variáveis, torna-se muito difícil conseguir uma total coincidência, contudo desta forma é possível perceber se as tendências são as mesmas e se os valores não se afastam demasiado.

Concluída a simulação, os seus resultados foram cruzados com os registos realizados “*in situ*” para cada compartimento e comparadas as tendências. Nos gráficos serão representadas duas curvas: a curva das temperaturas registadas pelos sensores, e uma segunda curva com as temperaturas simuladas pelo DesignBuilder com “inputs” da radiação solar global e temperaturas exteriores reais, em função do período monitorizado (19 de maio a 30 de junho).



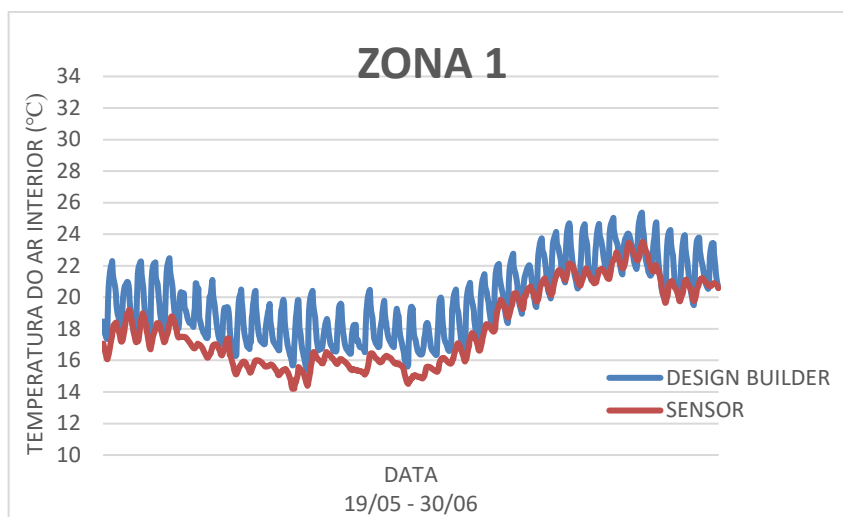


Fig.30 – Temperaturas do ar interior para a zona 1 no rés-do-chão do edifício antigo

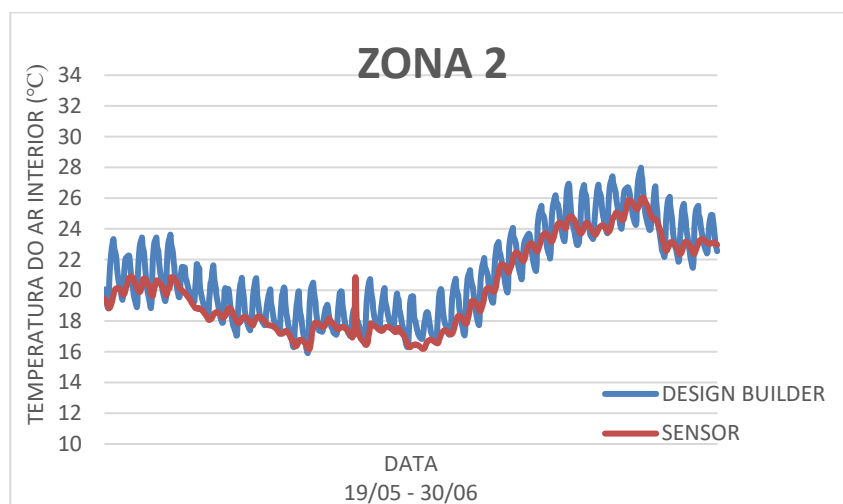


Fig.31 – Temperaturas do ar interior para a zona 2 no 1º andar do edifício antigo

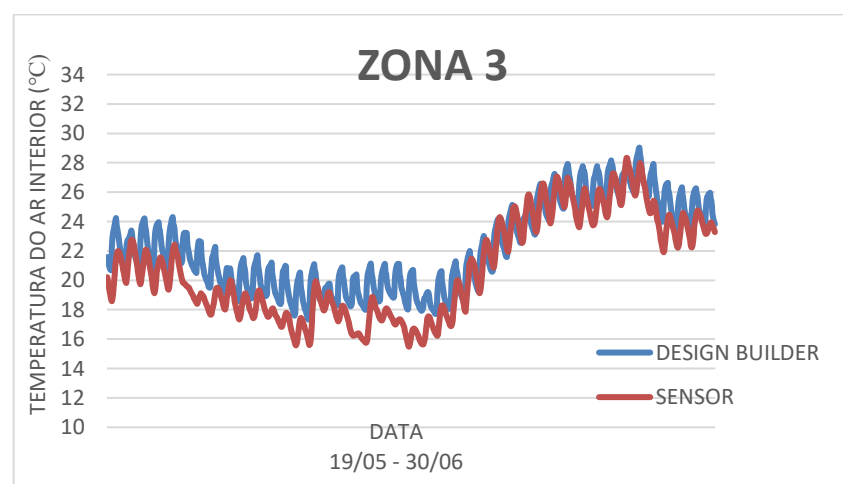


Fig.32 – Temperaturas do ar interior para a zona 3 no último andar do edifício antigo

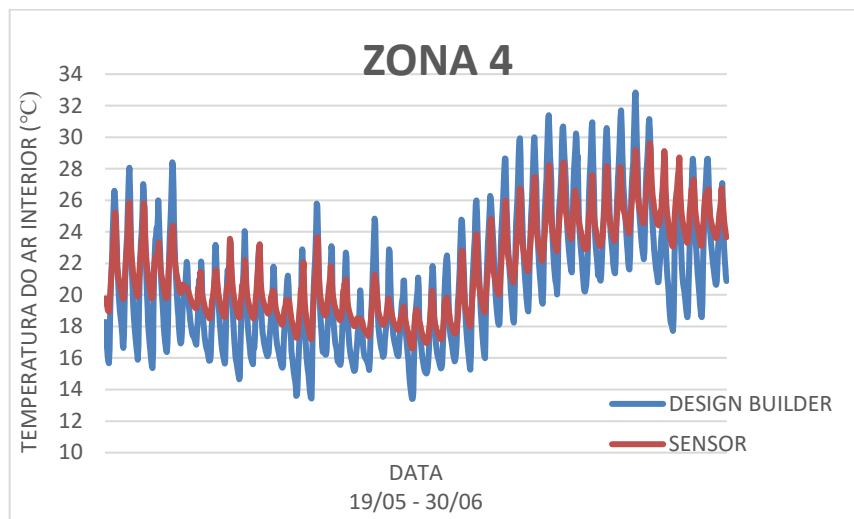


Fig.33 – Temperaturas do ar interior para a zona 4 no rés-do-chão do edifício novo

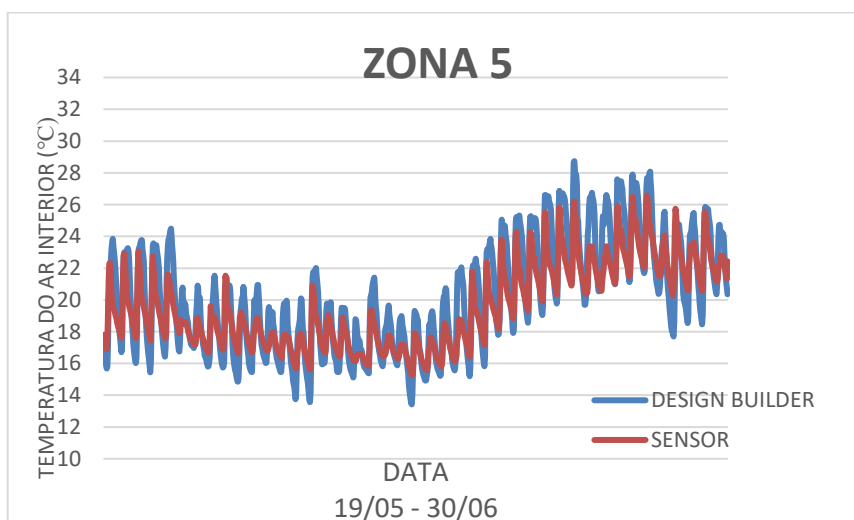


Fig.34 – Temperaturas do ar interior para a zona 5 no auditório do rés-do-chão do edifício novo

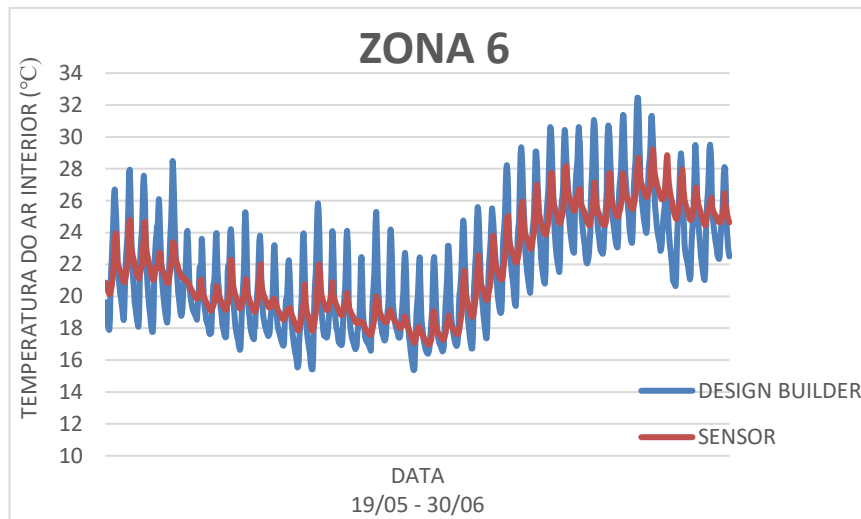


Fig.35 – Temperaturas do ar interior para a zona 6 no segundo piso do edifício novo

As renovações horárias de ar adotadas para cada compartimento basearam-se em valores constantes e serão identificadas no capítulo seguinte, onde se irá proceder à simulação com os dados genéricos do DesignBuilder.

Partindo para a análise gráfica, verifica-se que tanto as temperaturas registadas pelos sensores como as temperaturas obtidas pela simulação do DesignBuilder têm a mesma evolução, com registo em média semelhantes entre eles. Isto é, a média dos valores dos sensores, aproximam-se da média dos valores do DesignBuilder apesar de neste último as amplitudes térmicas serem superiores em algumas zonas. Não conhecendo quais as renovações de ar horárias que existiram na realidade, foi necessário adotar valores que se aproximassem o melhor possível das condições reais de utilização. Contudo existem parâmetros como velocidade do vento, pressão atmosférica, entre outros que influenciam as condições climáticas, e que podem ter influenciado a oscilação de temperaturas, não tendo sido possível criar condições para obter esses registos reais.

#### 4.4. SIMULAÇÃO COM DADOS GENÉRICOS PARA A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

É possível fazer uma simulação com os dados climáticos por defeito do programa DesignBuilder. Para isso é necessário escolher um dos registos climáticos relativos às localidades disponíveis no software para Portugal Continental: Bragança, Porto, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro. Para este caso, foram considerados os dados climáticos relativos a Faro. A opção por esta localização foi baseada nos critérios para a determinação da zona climática de verão do *despacho 15793-F\_2013 do Regulamento de Edifícios de Habitação*. Segundo este, a zona climática atribuída a Lamego é V3, a mesma de Faro e a única localidade disponível no DesignBuilder com a mesma zona climática.

Uma vez que o REH e o RECS consideram como estação de arrefecimento junho, julho, agosto e setembro, a análise incidirá apenas durante este período e irá processar-se de acordo com a seguinte ordem:

Numa primeira fase, irão ser analisados os registos de temperatura interior ao longo do tempo e compará-los com a temperatura conforto de referência (25° C) segundo o REH. Todos os valores acima desta referência resultam numa sensação de desconforto, embora para este caso importem apenas os registos superiores pois são os que realmente causam algum desconforto na estação de arrefecimento.

Numa segunda fase, irão ser analisados os resultados dos parâmetros PMV segundo *Fanger* para cada uma das zonas identificadas do anterior capítulo.

Numa terceira fase, irá proceder-se à descrição das zonas a monitorizar com base no valor acumulado dos graus hora de desconforto.

#### 4.5. ZONA 1 – EDIFÍCIO ANTIGO

##### 4.5.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR

Este é um local do edifício histórico caracterizado pelas paredes em pedra de elevada espessura que proporciona uma forte inércia. Além disso, a heterogeneidade das paredes permite que existam frinchas nas paredes que provocam uma ventilação natural com valores mais altos. A existência de apenas uma janela de pequenas dimensões diminui os ganhos solares provocado por esse efeito.

Para a consideração do número de renovações horárias, tomou-se como ponto de partida para cada compartimento, o valor recomendado ao abrigo do atual regulamento, ou seja, cerca 4 renovações horárias. Uma vez que não é hábito abrir e fechar janelas ou portas, para este caso foi considerado um valor de 2 renovações horárias do ar constantes. Além disso, apesar de existir um sistema de climatização em todo o edifício, este encontra-se continuamente desligado, não sendo considerada a sua utilização para todos os compartimentos em análise.

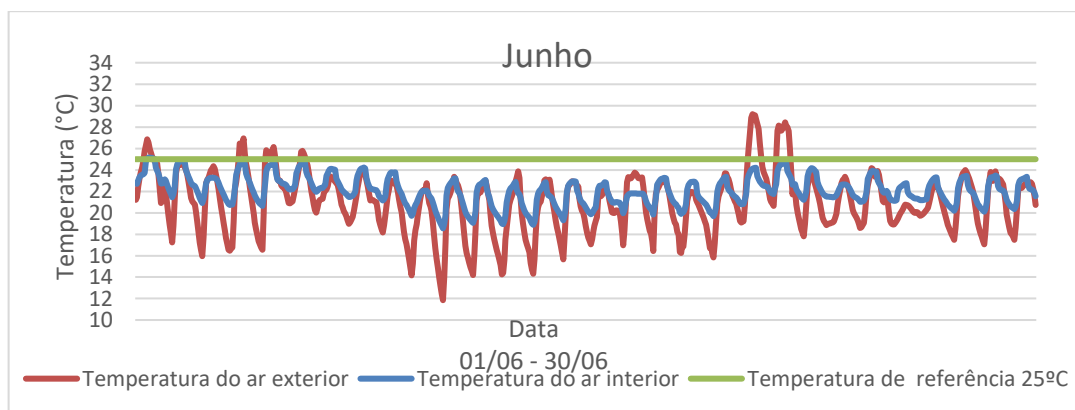


Fig.36 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês junho em relação ao valor de referência

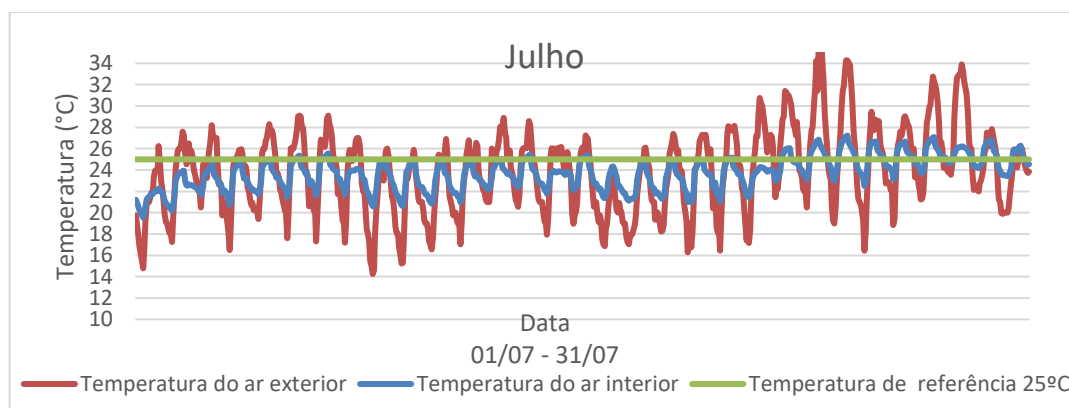


Fig.37 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês julho em relação ao valor de referência

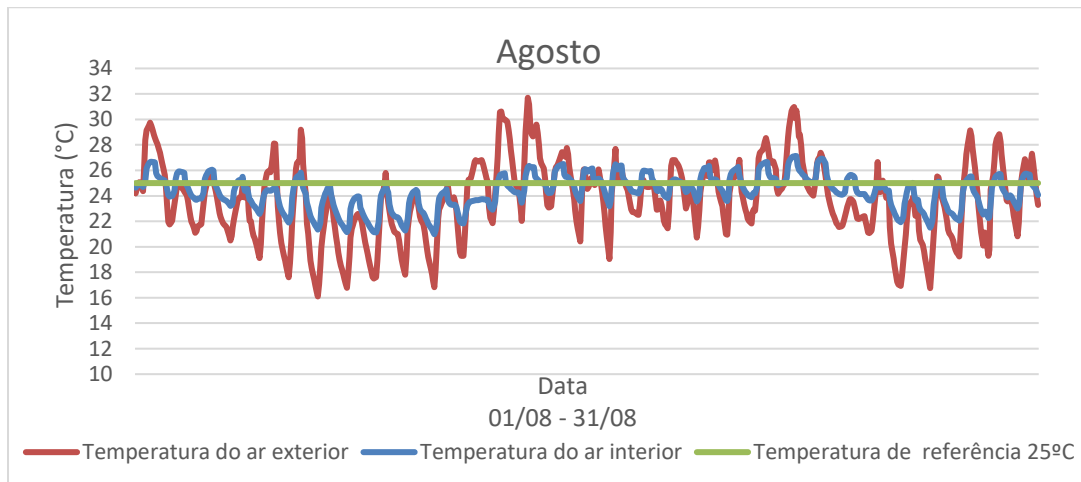


Fig.38 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês agosto em relação ao valor de referência

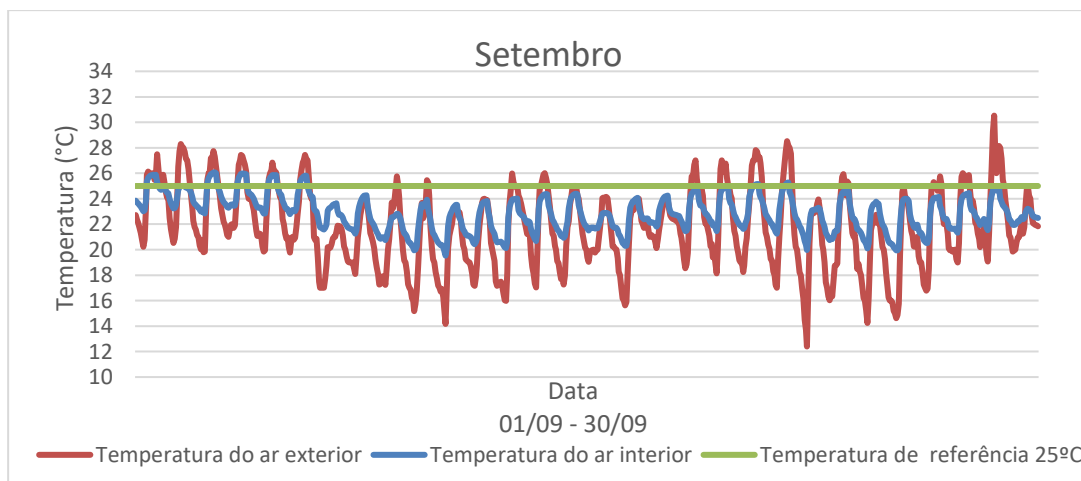


Fig.39 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês setembro em relação ao valor de referência

De uma forma geral, pelo que se pode observar nos gráficos, não se verificam grandes variações de temperatura do ar interior, pois as diferenças dificilmente ultrapassam os 5 graus. Isto pode ser justificado pela inércia forte deste compartimento e também pelo facto da área de envidraçados ser quase nula (apenas uma janela de pequenas dimensões) o que leva a ganhos solares bastante mais reduzidos.

Segundo o regulamento, o valor de referência de temperatura para a estação de arrefecimento são 25°C e os dados obtidos nesta simulação indicam que em muito poucas ocasiões a referência é ultrapassada, e nos caso em que acontece, a diferença é de apenas 2°C.

Contudo, o facto de não existir um retardamento na redução da temperatura interior pode ser explicado pelo facto de se ter considerado duas renovações horárias do ar constantes.

#### 4.5.2. ÍNDICE PMV

Considerados os parâmetros citados anteriormente, o DesignBuilder também fornece dados do critério de conforto térmico de *Fanger*, PMV.

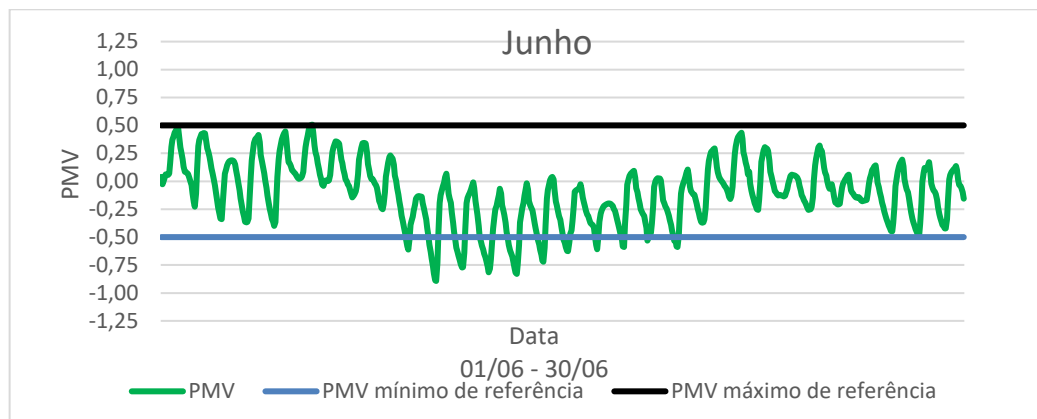


Fig.40 – Mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

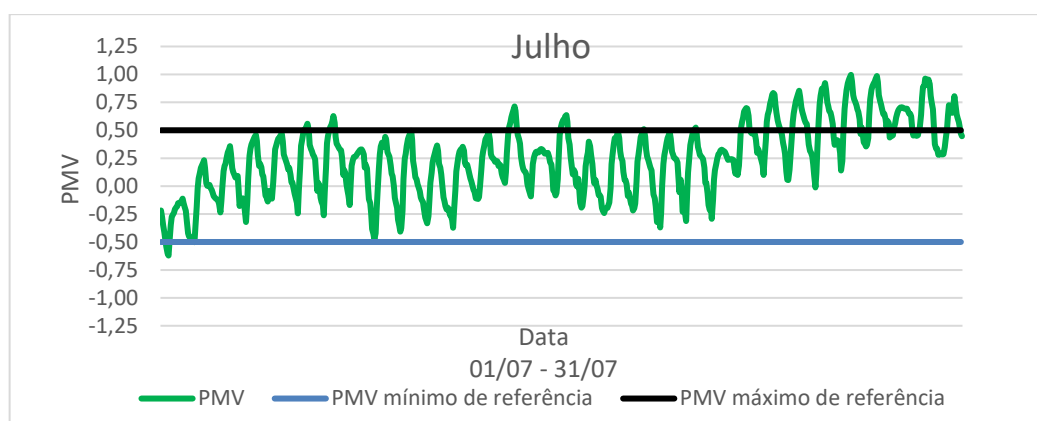


Fig.41 – Mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

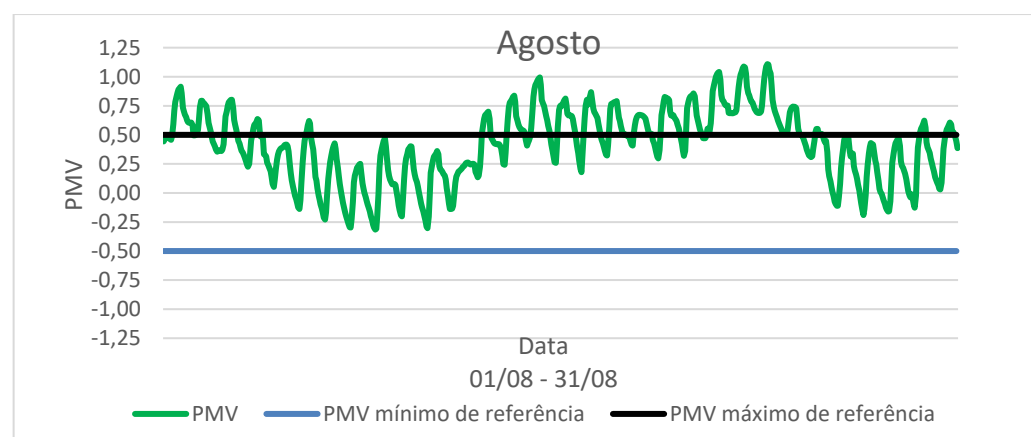


Fig.42 – Mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

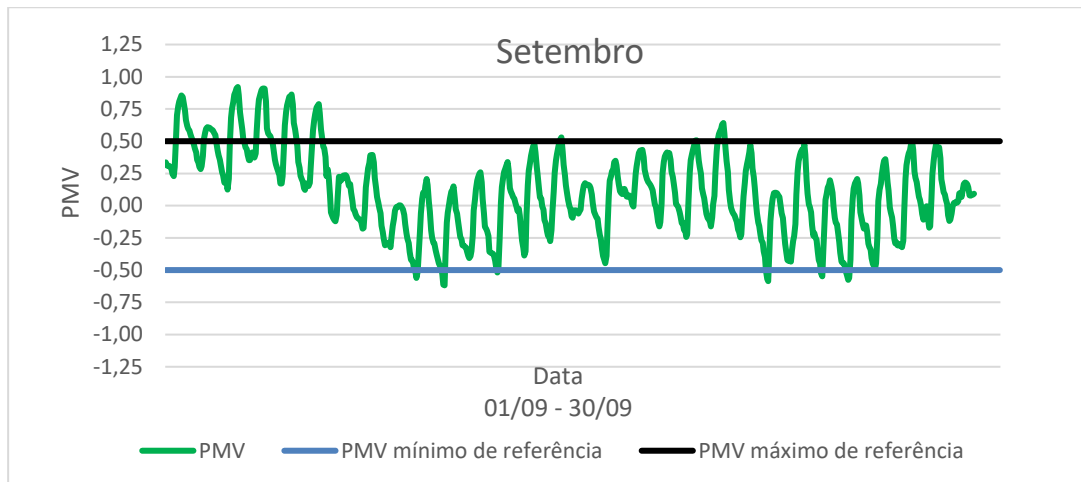


Fig.43 – Mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

Para condições aceitáveis de conforto térmico, os valores de PMV situam-se entre -0,5 e +0,5, e neste compartimento, o limite é apenas ultrapassado nos últimos dias de julho e em alguns períodos no mês de agosto, caracterizado pelas temperaturas de verão mais elevadas que se refletem também no interior do compartimento. O facto deste índice não ter flutuações de valores acentuadas, pode estar associada à baixa amplitude térmica que se regista no ar interior. Uma contribuição para tal é a forte inércia térmica.

#### 4.6. ZONA 2 – EDIFÍCIO ANTIGO

##### 4.6.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR

Com características arquitetónicas comuns ao espaço referido no ponto anterior, este compartimento apenas se diferencia do anterior pela existência de reboco na parede interior e de uma janela de maiores dimensões, embora comum ao registo histórico deste tipo de edificações, em que as portadas situadas no lado interno se encontram constantemente abertas. O número de renovações horárias considerado foi 1,5 igualmente constantes. Este é um compartimento que se encontra quase sempre fechado e também não existe o hábito de abrir janelas para circular o ar.

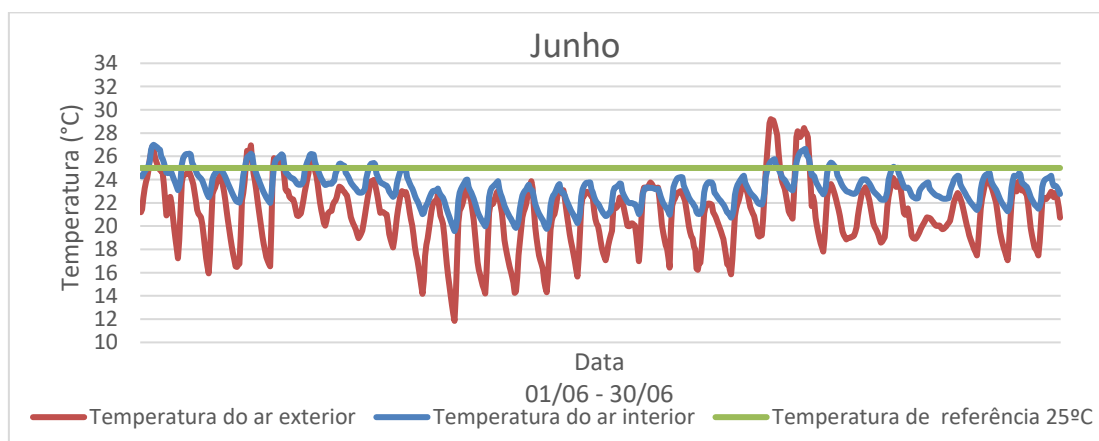


Fig.44 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês junho em relação ao valor de referência

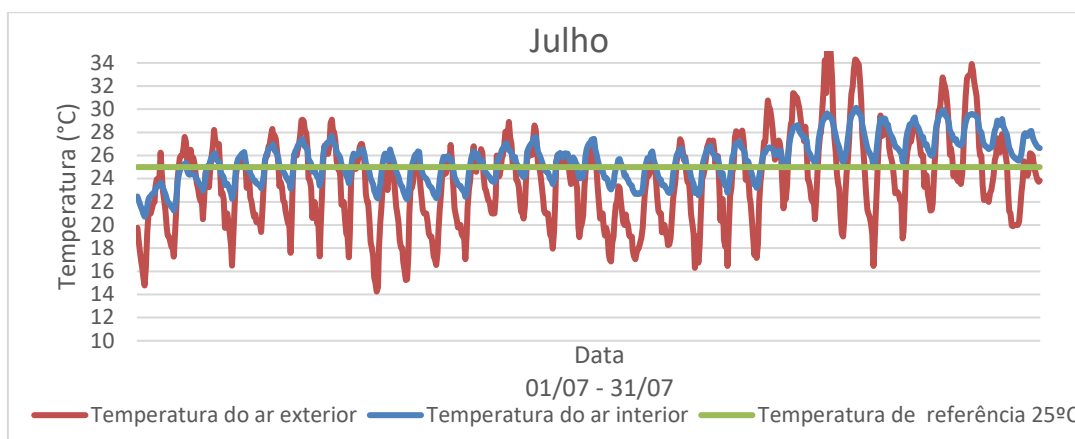


Fig.45 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês julho em relação ao valor de referência

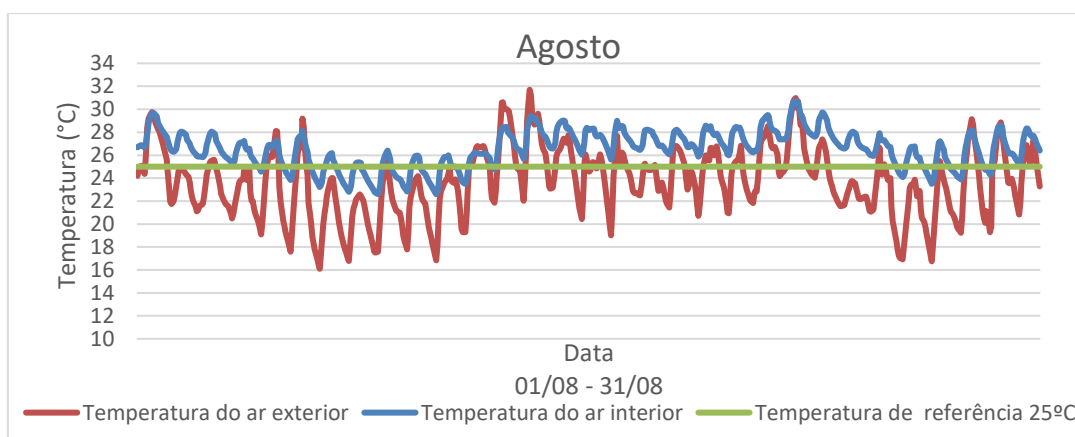


Fig.46 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês agosto em relação ao valor de referência

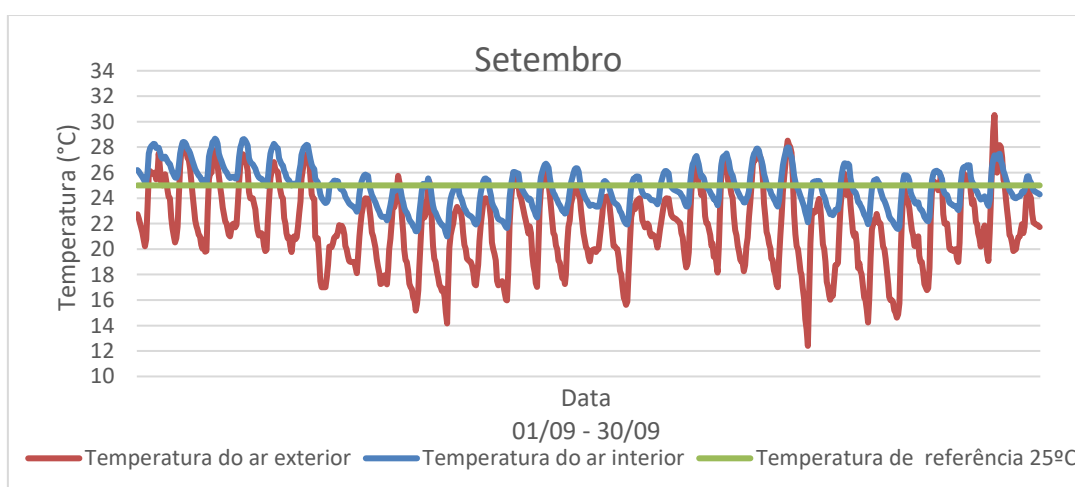


Fig.47 – Variação da temperatura do ar interior ao longo do mês setembro em relação ao valor de referência



À semelhança do ponto anterior, os picos de temperatura não provocam variações térmicas significativas, contudo, o facto da sala estar mais exposta e a janela estar constantemente aberta sem qualquer tipo de proteção, o valor de referência de 25°C é várias vezes ultrapassado principalmente em agosto (fig. 46), justificado por valores de radiação solar e temperaturas exteriores mais elevadas. Além disso devido à sua inércia forte, as paredes exteriores mantêm o calor por mais tempo e não permite que as temperaturas baixem para valores mais confortáveis durante a noite.

#### 4.6.2. ÍNDICE PMV

As variações dos índices PMV podem-se verificar nos seguintes gráficos.

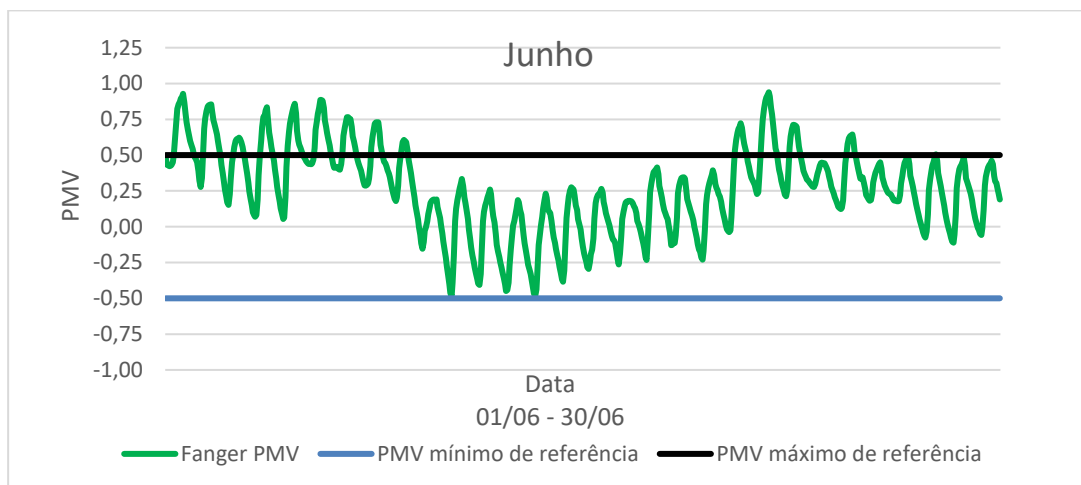


Fig.48 – Zona 2, mês de junho com Variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

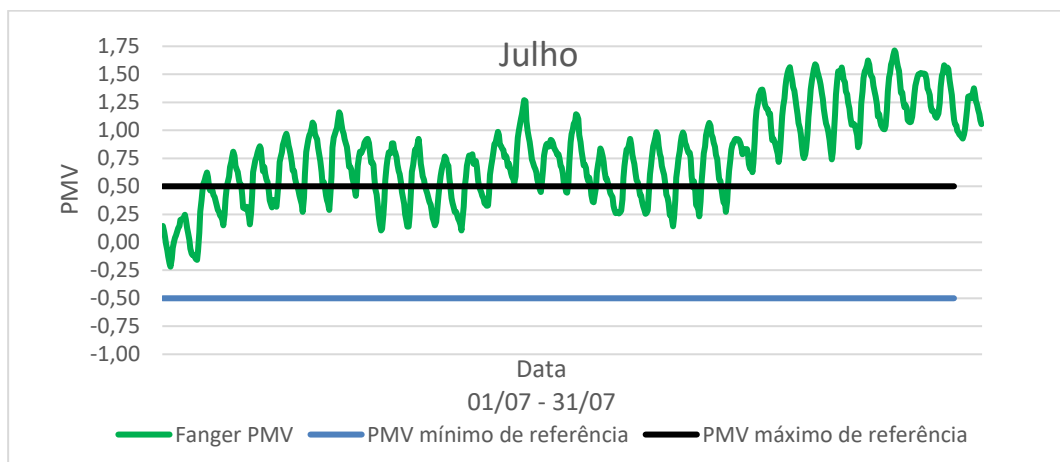


Fig.49 – Zona 2, mês de julho com Variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

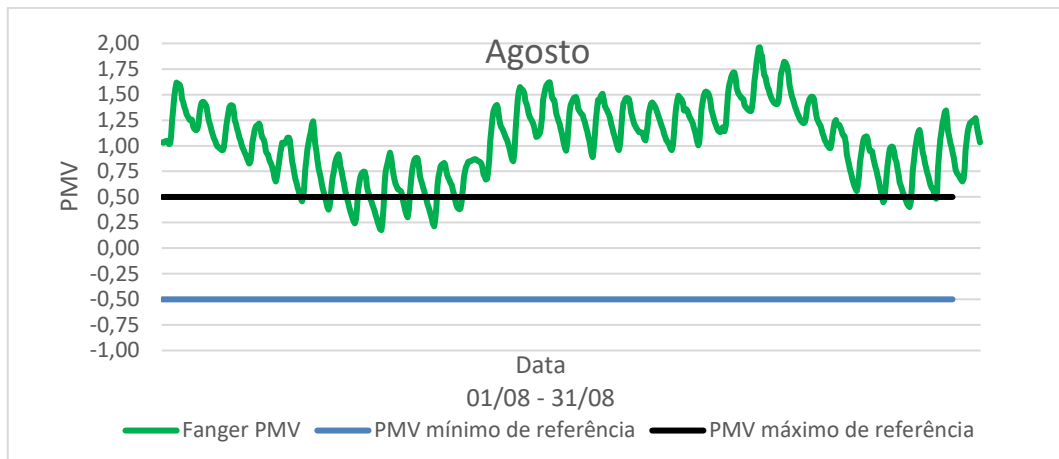


Fig.50 – Zona 2, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

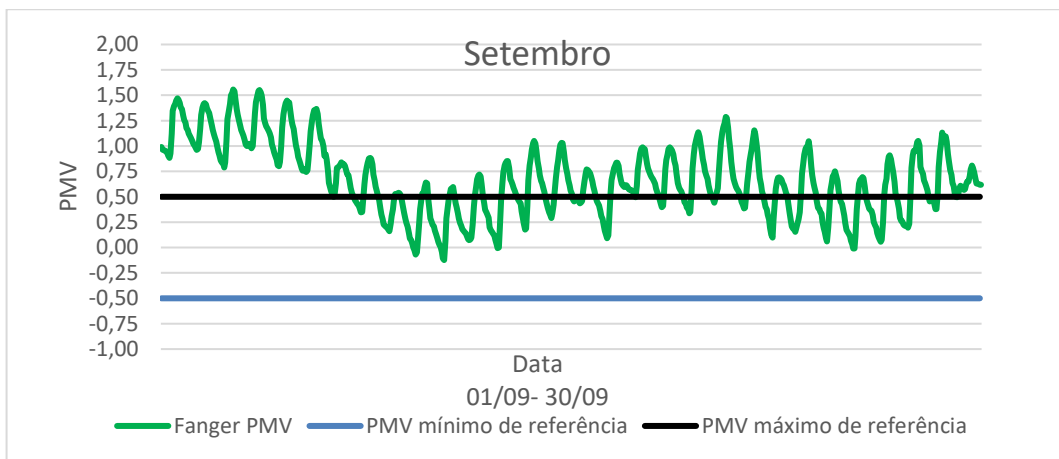


Fig.51 – Zona 2, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

Segundo os índices de Fanger, neste compartimento confirmam-se alguns valores de sobreaquecimento para o período mais desfavorável, últimos dias de julho e principalmente na última quinzena do mês de agosto.

As temperaturas de verão e radiação solar mais elevadas refletem-se no interior do compartimento.

#### 4.7. ZONA 3 – EDIFÍCIO ANTIGO

##### 4.7.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR

Apesar de estar situado no edifício antigo, as paredes viradas a sul e nascente foram construídas de raiz com uma constituição com isolamento pelo lado exterior. No entanto, viradas a Norte as paredes em pedra mantêm-se. À semelhança do compartimento no ponto anterior, os três vãos envidraçados têm portadas pelo lado interior que se encontram fechadas e que podem contribuir por efeito de radiação para o aquecimento do compartimento.

Foi considerado um número constante de renovações horárias de 1, devido ao facto deste compartimento estar continuamente fechado, sem acesso ao público.

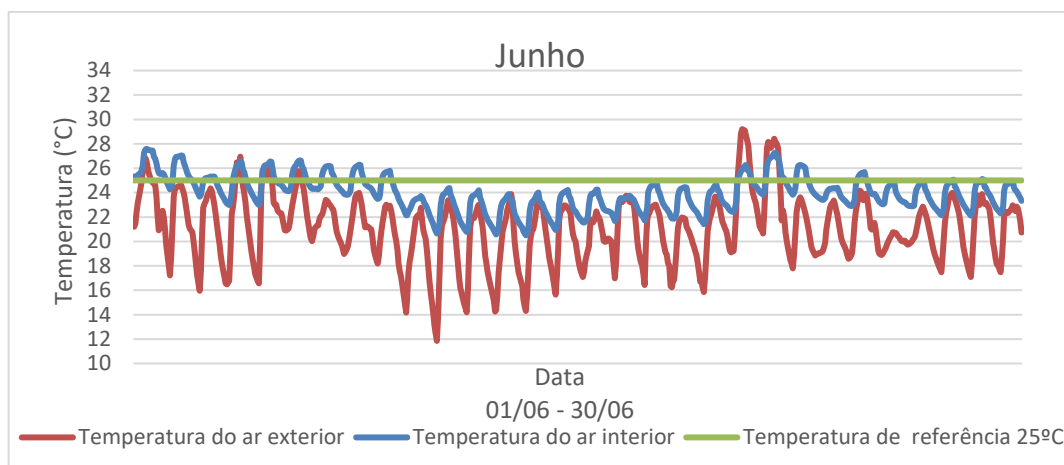


Fig.52 – Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência

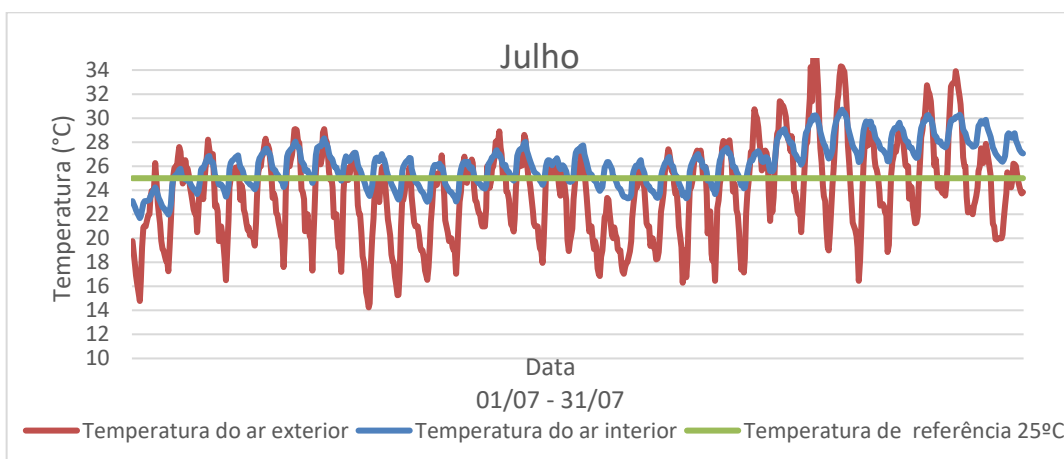


Fig.53 – Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência

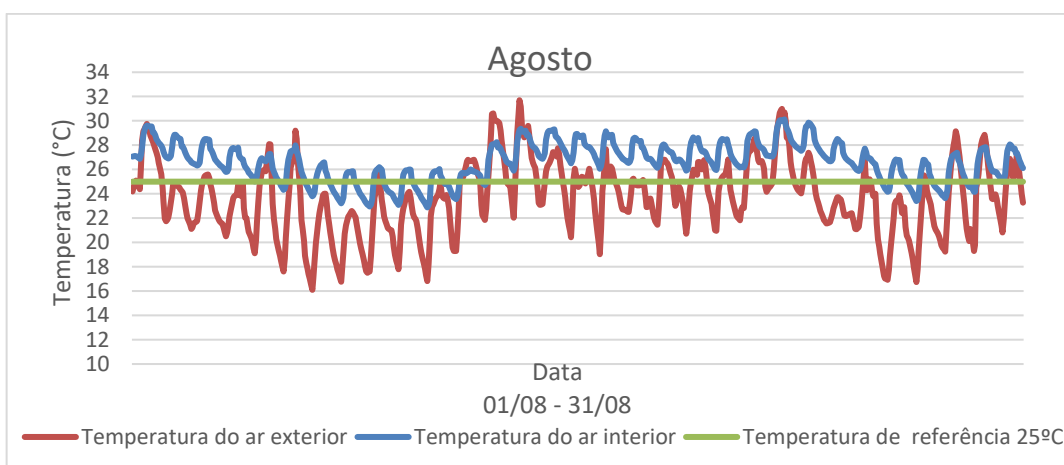


Fig.54 – Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência

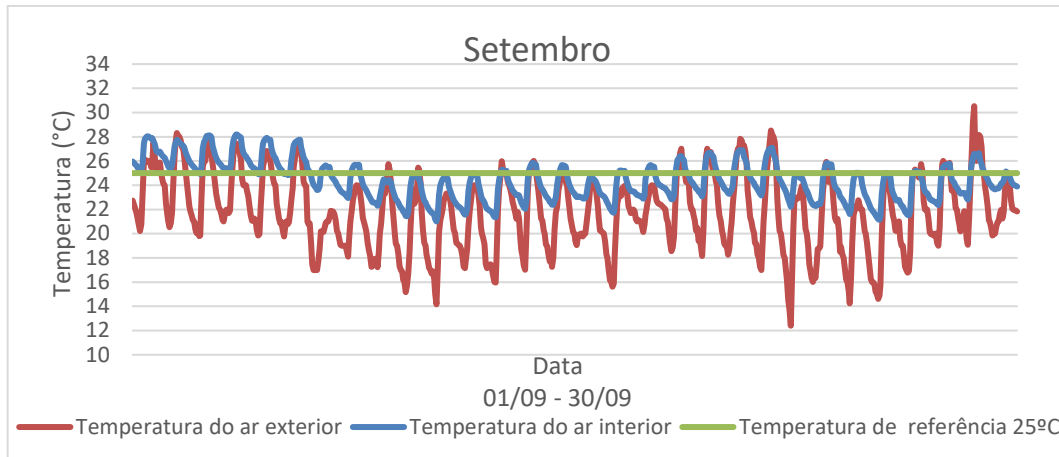


Fig.55 – Zona 3, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência

À semelhança de todos os compartimentos neste edifício, as amplitudes térmicas no lado interior não são significativas, mas durante o período mais desfavorável (fig.53 e fig.54), as temperaturas mantêm-se continuamente acima do valor de referência. Isto pode ser justificado pelo facto de o edifício estar localizado no último piso em contacto direto com a cobertura que provoca ganhos de calor. Além disso, à noite tem poucas perdas de calor por ter uma envolvente (fachada principal e teto) bastante isolada e apenas a parede das traseiras ficou por isolar. Para agravar, esta zona perdeu inércia em relação ao piso de baixo: a parede da fachada principal tem o isolamento logo a seguir ao gesso cartonado, pelo que não contribui para a inércia, à semelhança da laje de teto por ser constituída por teto falso com isolamento. A única envolvente que contribui com perdas de calor é a fachada a norte com parede de pedra.

Além disso a ventilação é muito reduzida por ser um espaço continuamente fechado e não existir ventilação noturna.

#### 4.7.2. ÍNDICE PMV

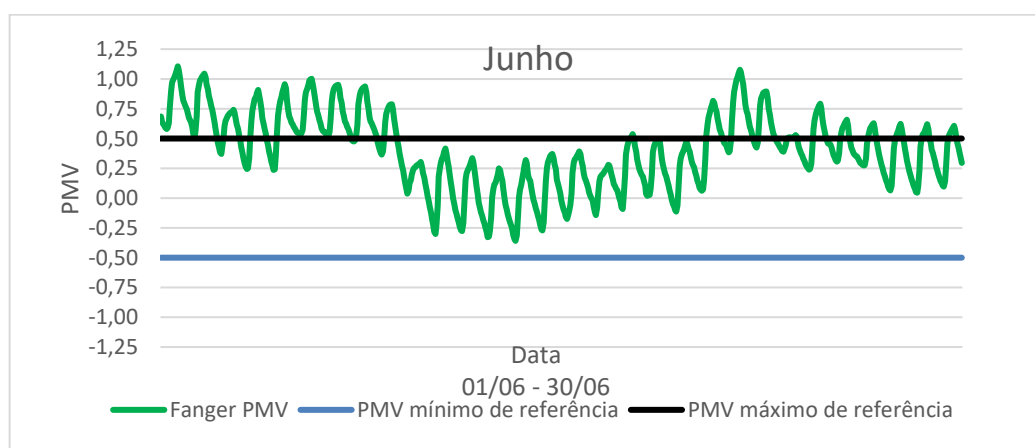


Fig.56 – Zona 3, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

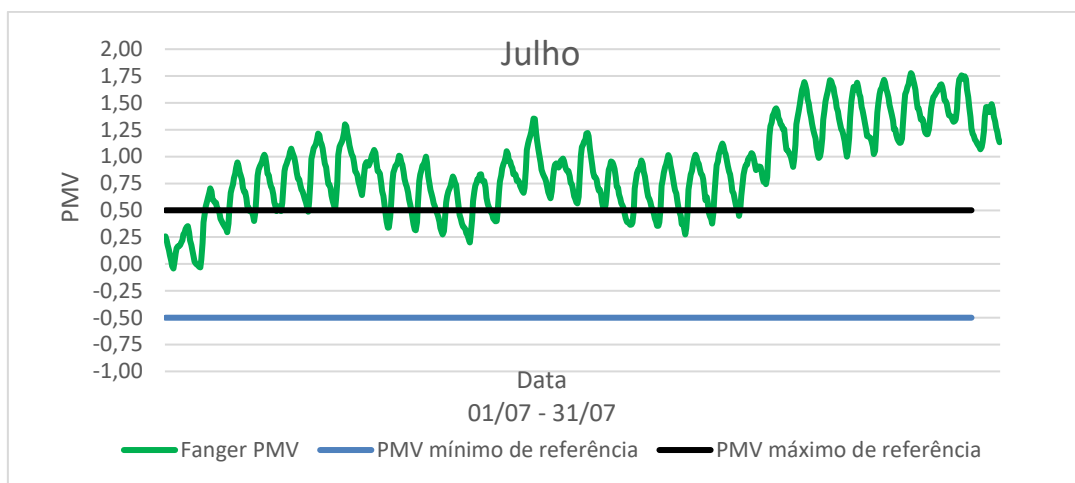


Fig.57 – Zona 3, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

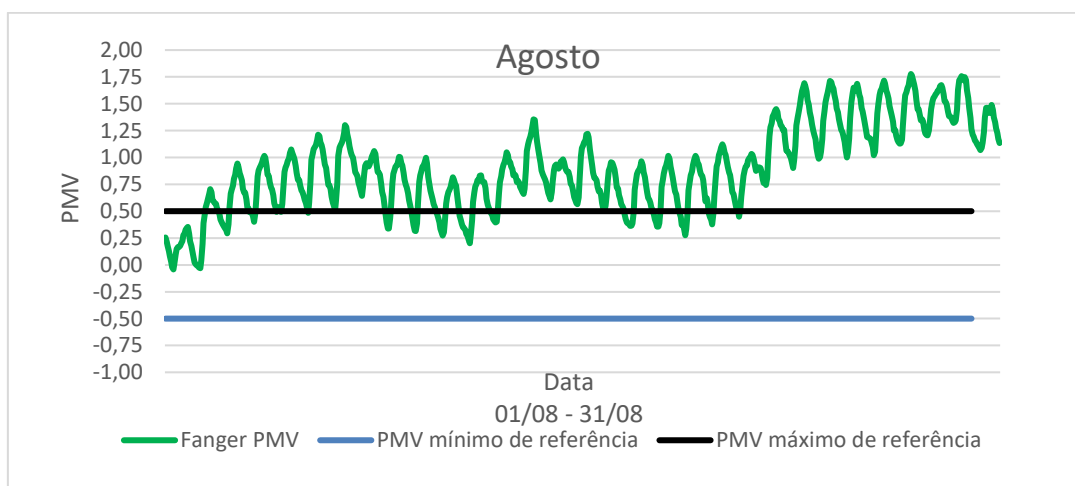


Fig.58 – Zona 3, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

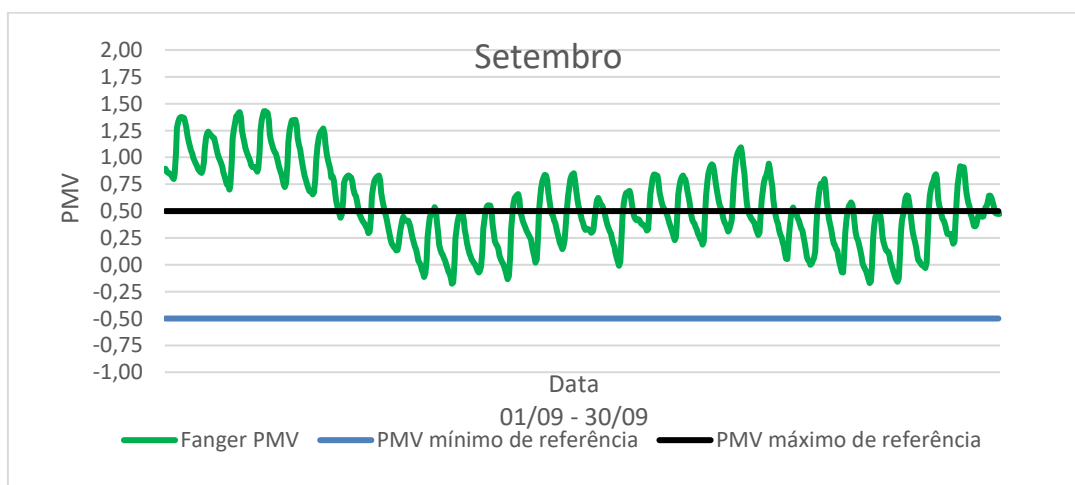


Fig.59 – Zona 3, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

Como seria de esperar, os índices PMV deste local, estão continuamente acima da média para o período mais desfavorável (fig.57 e fig.58) em relação a todos os outros compartimentos analisados, chegando a atingir índices de desconforto de 1,75 (fig.58).

Existem indícios de sobreaquecimento motivados pela inércia e ventilação conforme explicado em 4.7.1.

#### **4.8. ZONA 4 – EDIFÍCIO NOVO**

##### **4.8.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR**

Construído de raiz e arquitetonicamente distinto do anterior, este é um espaço de circulação sem portas e com poucas divisórias a separar as várias salas que constituem este andar. Serve de entrada para o museu e é constituído por uma área de envidraçados elevada com proteção e sombreamento pelo lado interior através estores de tecido claro em forma de rolo.

Este espaço está essencialmente virado a poente e foi considerado um número de renovações horárias constantes de 2,75 por se encontrar próximo da entrada do museu. No entanto também não é hábito abrir as janelas e portas para circulação de ar.

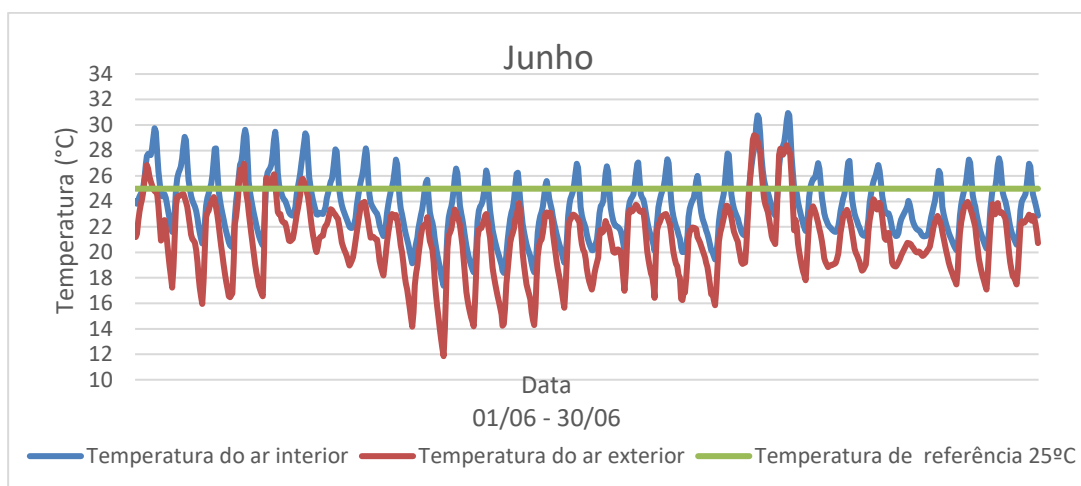


Fig.60 – Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência

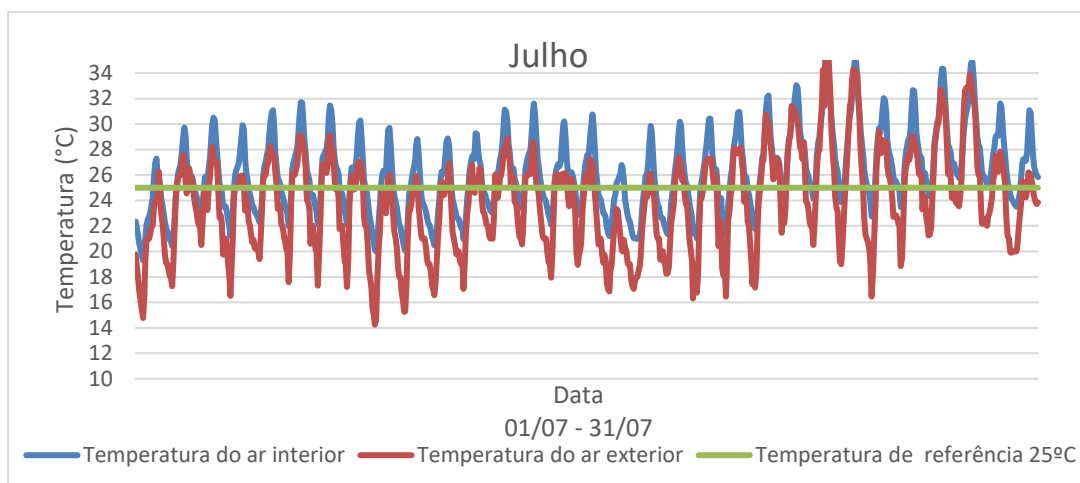


Fig.61 – Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência

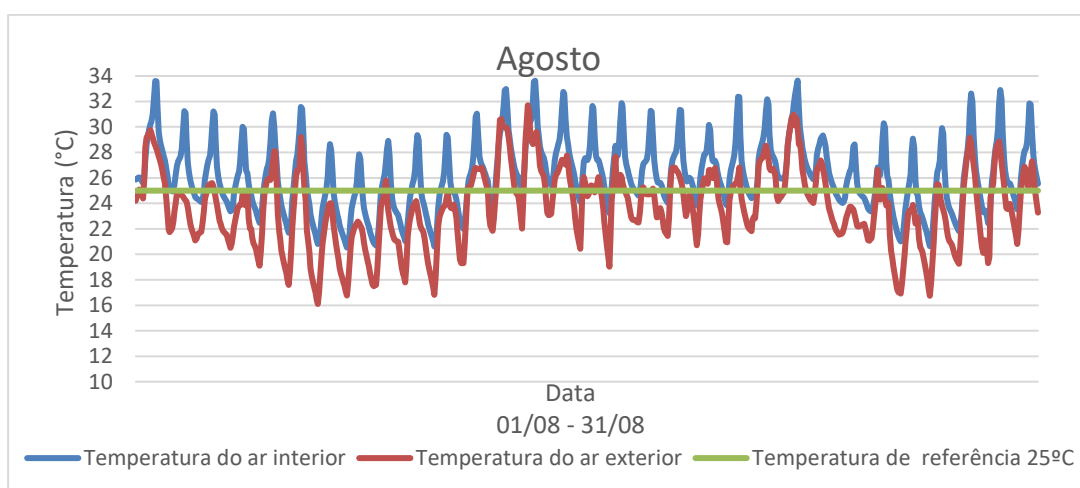


Fig.62 – Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência

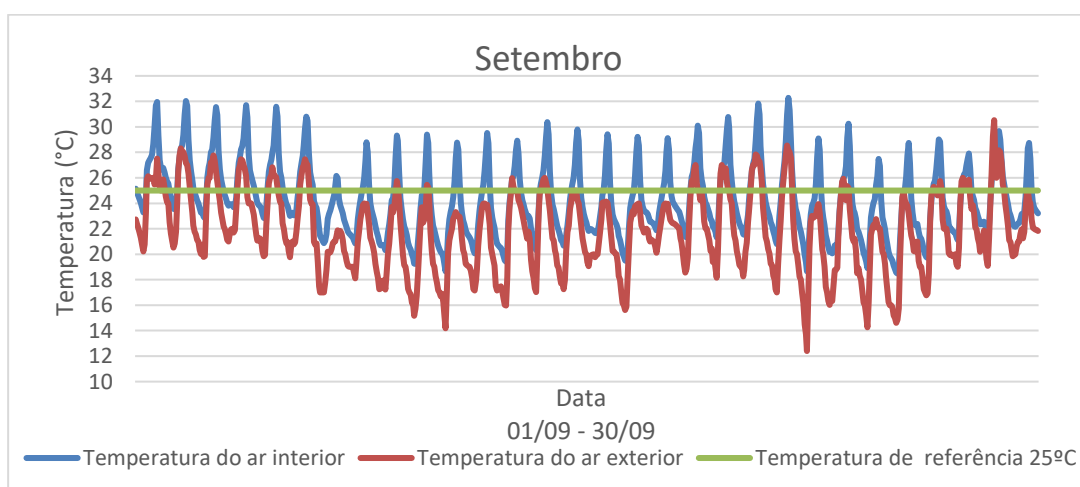


Fig.63 – Zona 4, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência

Neste espaço, registam-se fortes amplitudes de temperatura do ar interior. Se repararmos no gráfico da última quinzena de julho, as amplitudes chegam a atingir 10 graus de diferença em menos de 12 horas. Isso, acarreta registos de temperatura visivelmente superiores à temperatura de referência que são justificados pelos ganhos solares provocados pelos enormes vãos envidraçados e pela orientação essencialmente a poente. A estrutura de revestimento na fachada do lado exterior, apenas provoca algum sombreamento quando o sol está mais alto e virado a sul. Contudo, a poente os raios solares incidem diretamente anulando o efeito do sombreamento na fachada e os ganhos solares aumentam exponencialmente.

#### 4.8.2. ÍNDICE PMV

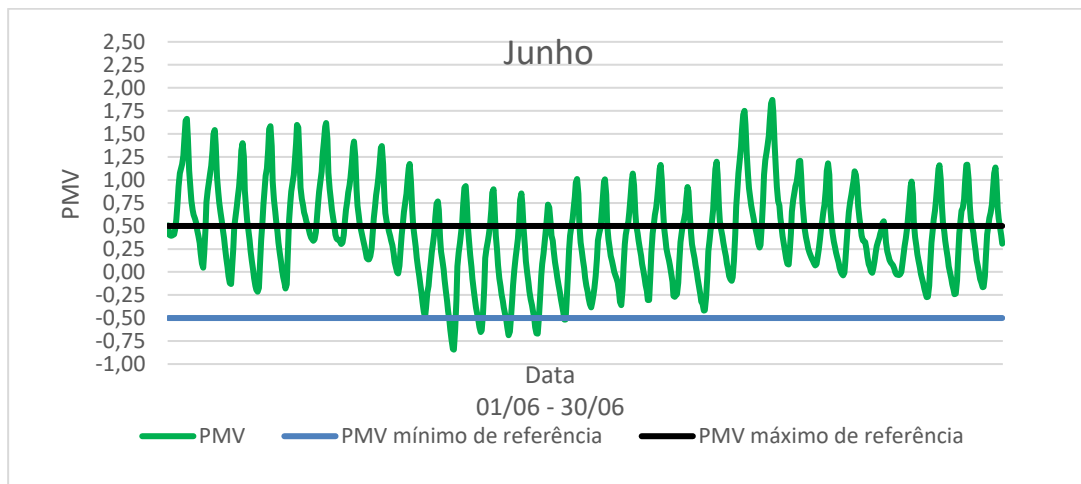


Fig.64 – Zona 4, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

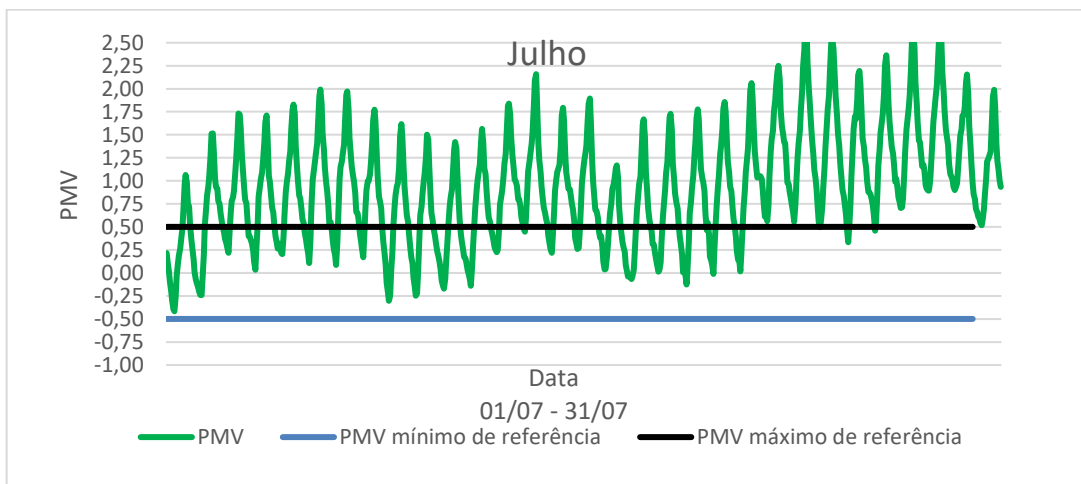


Fig.65 – Zona 4, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo



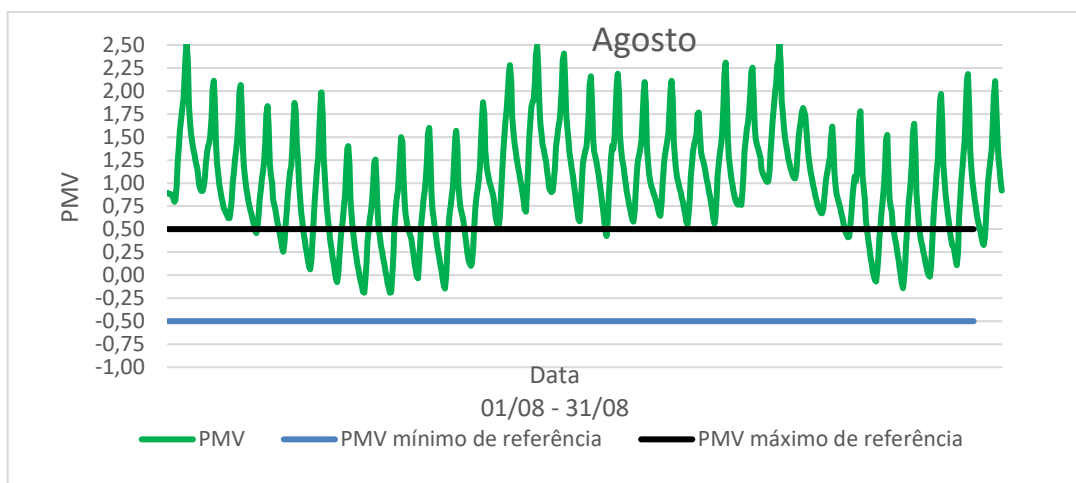


Fig.66 – Zona 4, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

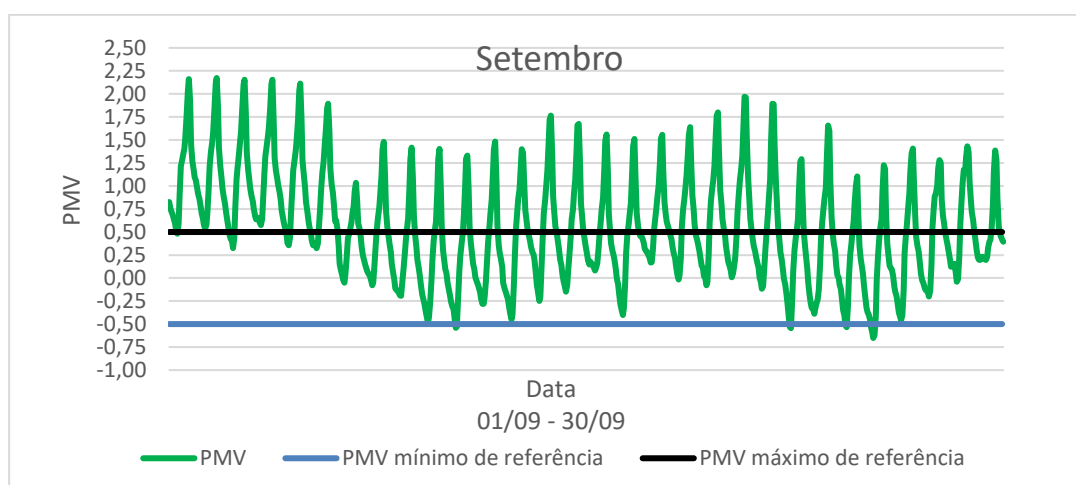


Fig.67 – Zona 4, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

Mesmo para períodos em que o calor não é significativo, com é o caso do mês de junho, o índice de PMV situa-se muitas vezes acima dos valores considerados confortáveis. A forte amplitude térmica afeta o índice PMV pois facilmente este compartimento atinge níveis desconfortáveis durante o dia, atingindo níveis aceitáveis de conforto durante a noite.

A fraca inércia térmica e o facto de existirem vãos envidraçados enormes, reduzem a temperatura durante a noite para níveis de conforto aceitáveis, contudo, durante o dia é desconfortável estar dentro deste espaço.

#### 4.9. ZONA 5 – EDIFÍCIO NOVO

##### 4.9.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR

Estamos perante uma sala que serve de auditório para apresentação de novas exposições.

Como é comum neste tipo de espaço, a sua envolvente é constituída por materiais com características acústicas, e este tem paredes forradas com placas de gesso cartonado perfurado com lã de rocha do lado interior. Parte da parede virada a norte encontra-se abaixo do nível do piso exterior e é em betão armado enquanto que a zona virada a nascente é constituída por grandes vãos envidraçados com cortinas pelo lado interior a preencherem quase a totalidade da fachada. A comunicação com o hall de entrada (o compartimento analisado no ponto anterior) é feita através de uma porta de correr de madeira que se encontra parcialmente aberta.

Uma vez por mês, o auditório recebe entre 50 a 60 pessoas para apresentação de novas exposições artísticas, contudo, por ser um caso pontual que ocorre uma vez ao mês, não se considera significativa a influência das variáveis individuais (taxa de metabolismo) nas condições térmicas a considera, embora, durante esse momento, a temperatura no seu interior muito provavelmente influenciará as condições de conforto térmico através do aumento da temperatura.

Foram consideradas 2,75 renovações horárias constantes para este caso.

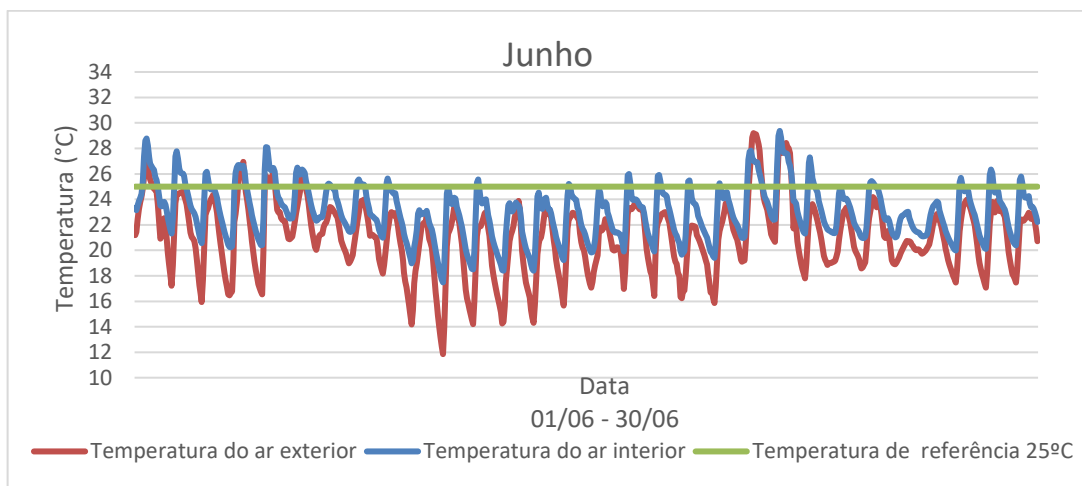


Fig.68 – Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência

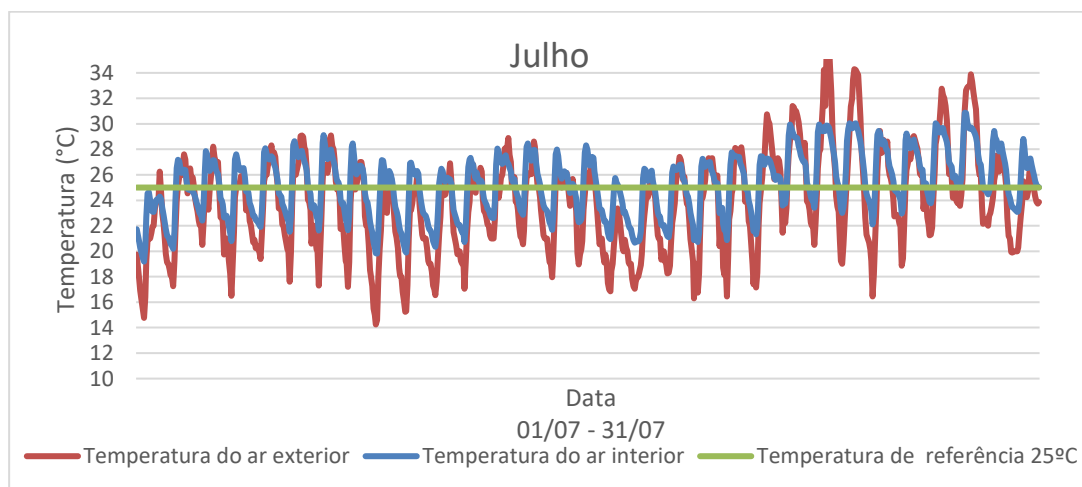


Fig.69 – Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência

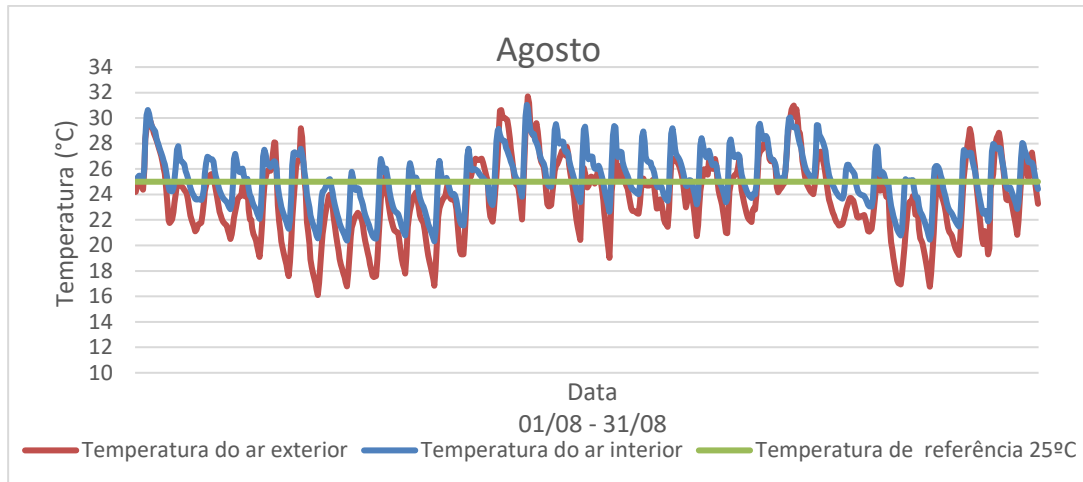


Fig.70 – Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência

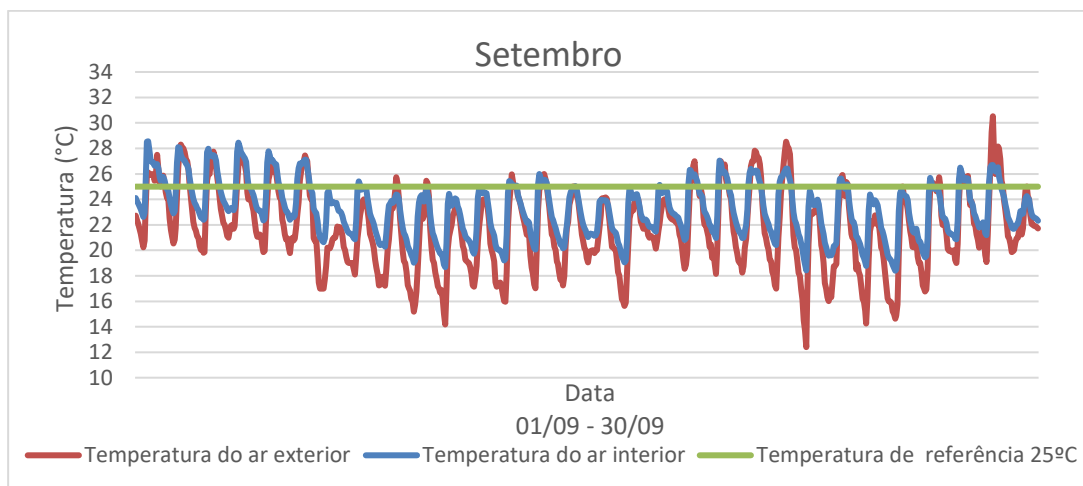


Fig.71 – Zona 5, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência

Em todos os gráficos, verifica-se a flutuação de temperatura do ar interior durante o dia, contudo esta amplitude não é tão vincada quando comparada com o compartimento que serve de entrada para o resto do edifício (zona 1 – edifício novo). Apesar dos vãos envidraçados a nascente, a sua orientação a norte (em contacto com o terreno) e a nascente, contribuem uma diminuição da amplitude térmica que se verifica por exemplo em relação ao caso anterior.

Apesar de mais confortável termicamente em relação ao caso anterior, verificam-se várias horas com temperaturas do ar interior acima do valor de referência que provocam algum desconforto térmico e sobreaquecimento no interior da sala (fig. 69 e fig. 70).

#### 4.9.2. ÍNDICE PMV

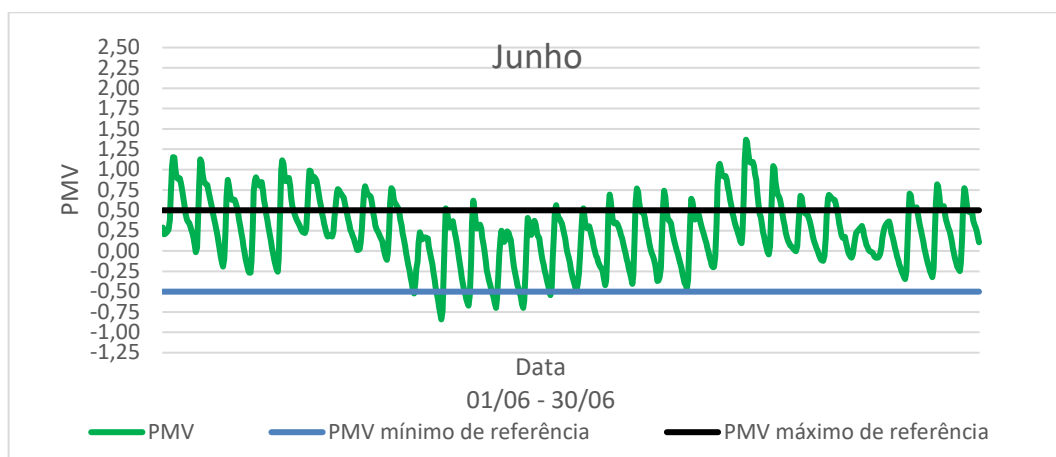


Fig.72 – Zona 5, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

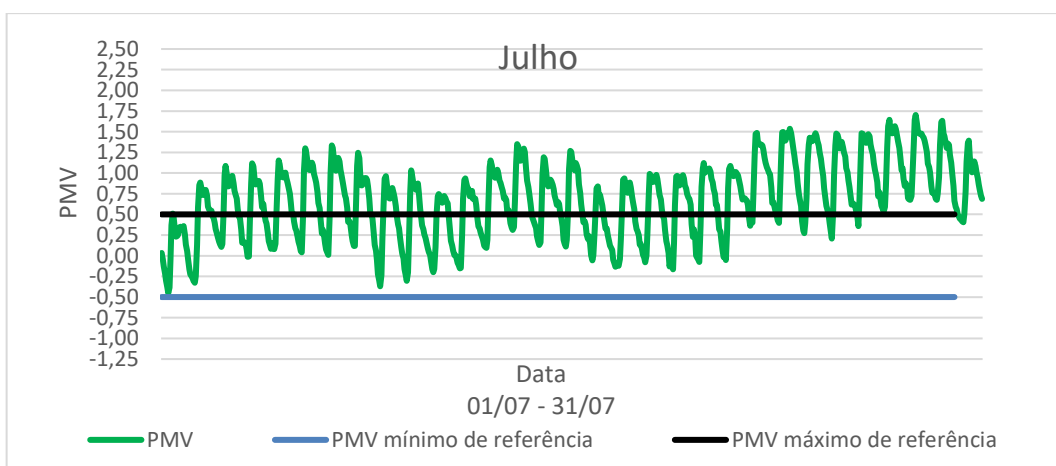


Fig.73 – Zona 5, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

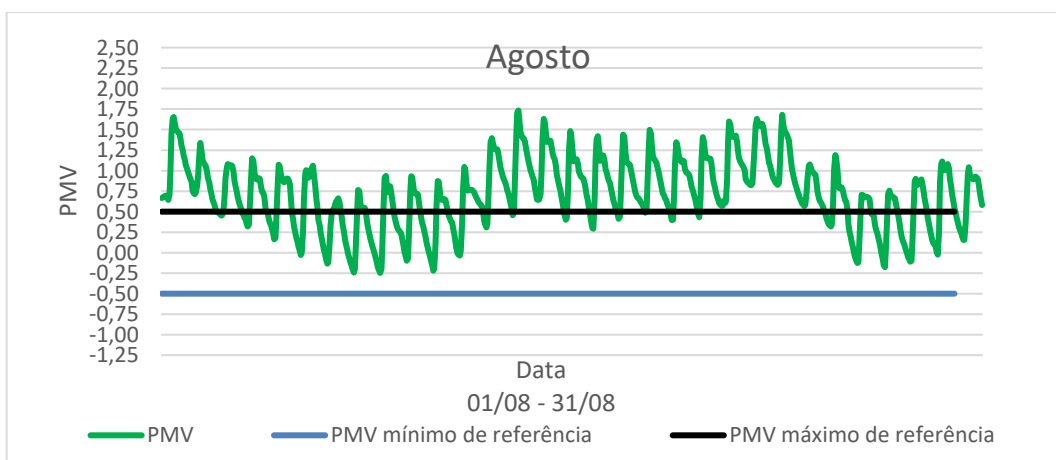


Fig.74 – Zona 5, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

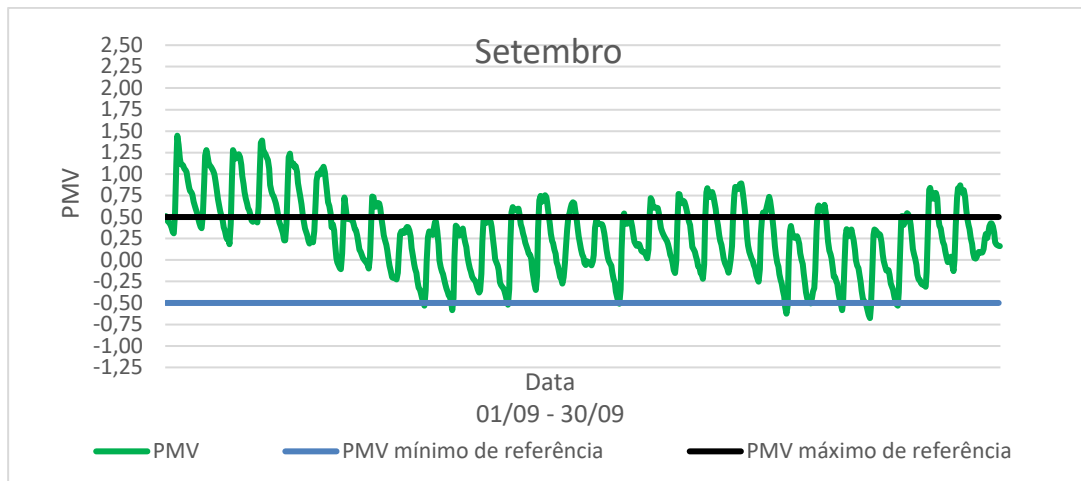


Fig.75 – Zona 5, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

A síntese analisada no ponto anterior reflete-se nos índices PMV registados para o período em análise. Na generalidade, várias vezes os índices PMV ultrapassam os limites máximos de referência. No final de julho e durante o mês de agosto, existem períodos de desconforto térmico traduzidos por picos de PMV que atingem mais de 1,5. Contudo, o facto de não existirem amplitudes térmicas no interior da sala tão vincadas quanto o caso anterior em 4.7.2., expressa-se também em amplitudes menores nos índices PMV. Como se irá confirmar adiante, nas zonas monitorizadas do edifício novo, esta é a aquela com o nível de conforto térmico mais aceitável.

#### 4.10. ZONA 6 – EDIFÍCIO NOVO

##### 4.10.1. TEMPERATURA INTERIOR E EXTERIOR

Local para exposição de peças artísticas, o espaço é aberto sem portas a dividir os compartimentos. O utilizador poderá percorrer todo o seu espaço sem ter de abrir ou fechar portas. Contudo a zona considerada para os testes, está virada a poente na mesma linha vertical que a zona estudada no piso mais abaixo.

À semelhança deste último, a parede virada a poente é constituída por vãos envidraçados com sombreamento pelo lado interior que ocupam praticamente a sua totalidade. Já a sul e nascente, os vidros foram substituídos por uma parede constituída dos dois panos com isolamento térmico e caixa de ar a separá-los.

A cobertura inclinada tem isolamento pelo lado interior.

Foram consideradas 1,75 renovações de ar horárias constantes, por ser claramente um espaço sem aberturas de janelas e portas para o exterior, não favorecendo a ventilação.

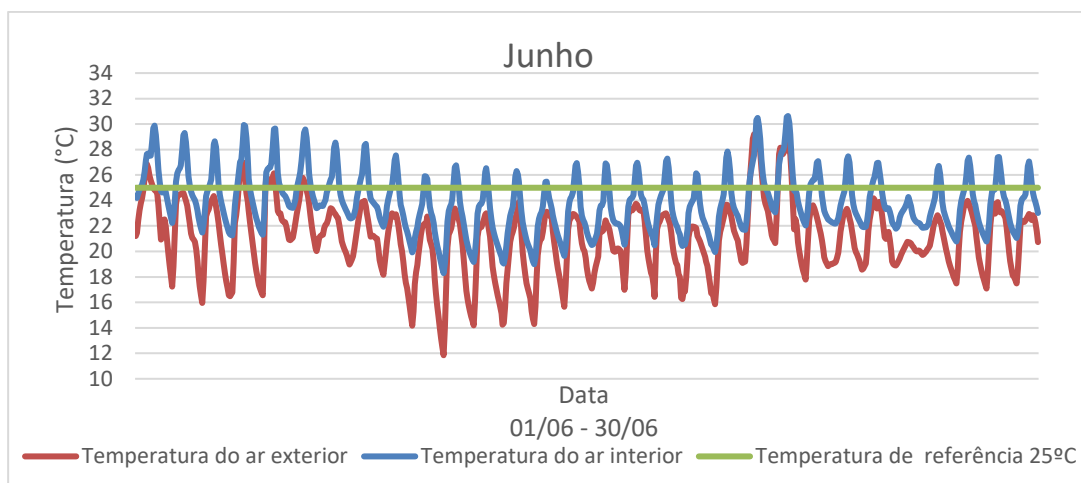


Fig.76 – Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de junho em relação ao valor de referência

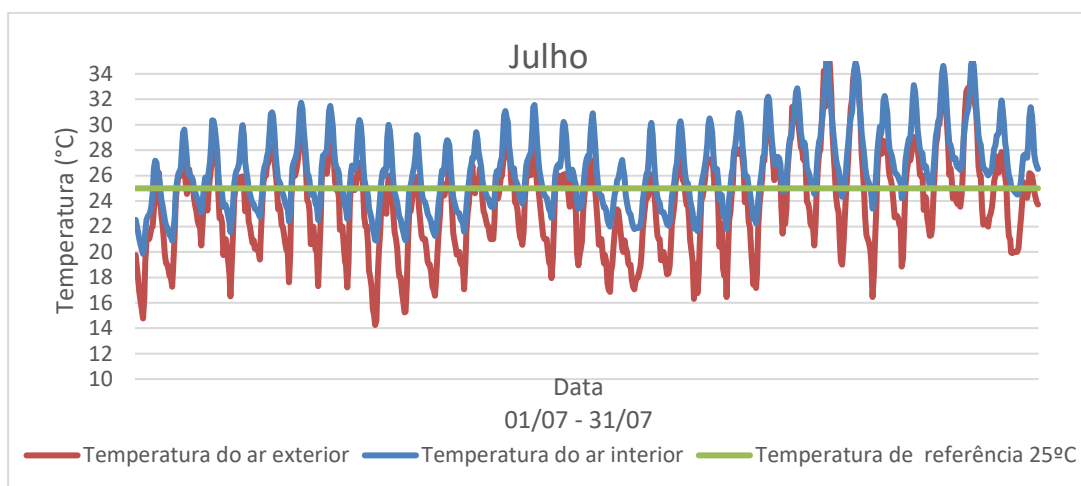


Fig.77 – Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de julho em relação ao valor de referência

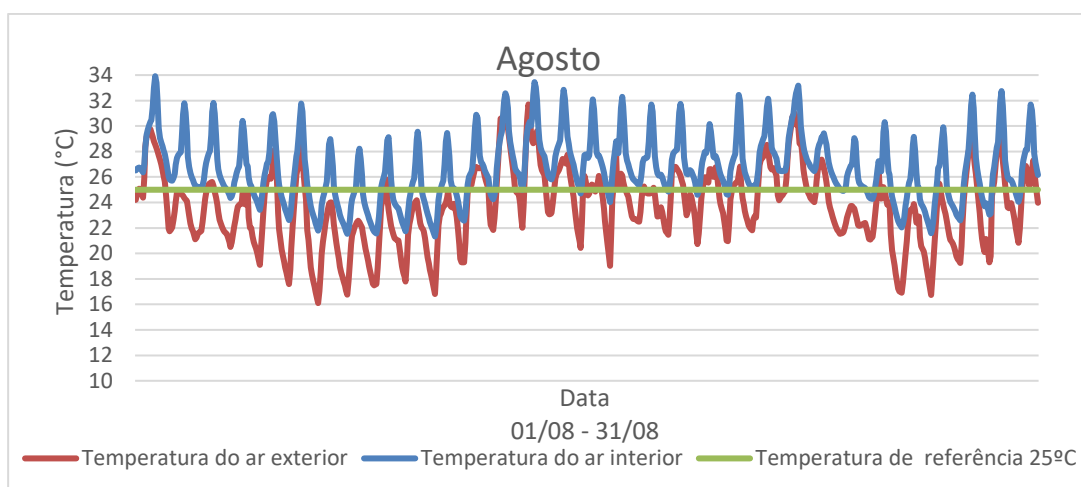


Fig.78 – Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de agosto em relação ao valor de referência

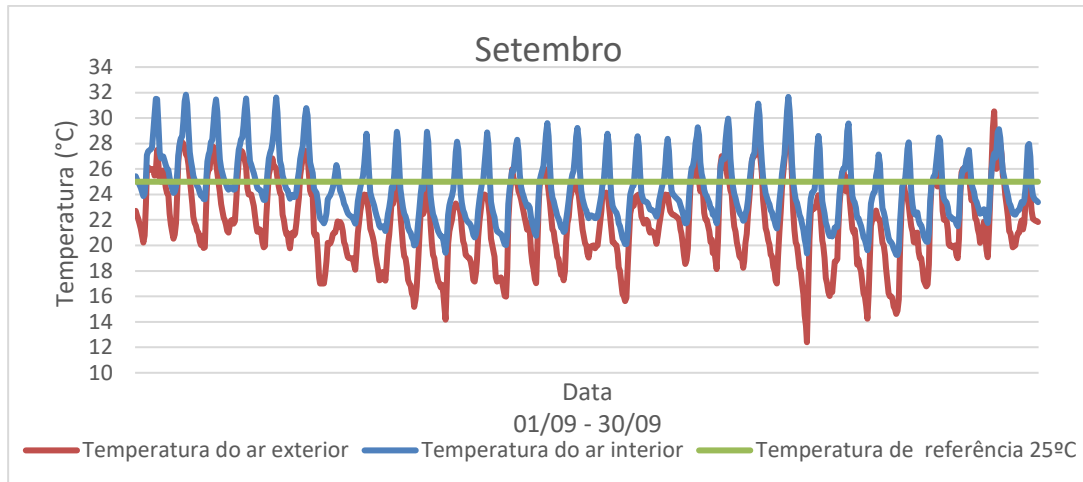


Fig.79 – Zona 6, variação da temperatura do ar interior ao longo do mês de setembro em relação ao valor de referência

Uma vez mais, em todos os gráficos notam-se amplitudes térmicas que atingem até quase 10 graus de diferença em menos de 12 horas. Mesmo no período menos favorável, início do mês de junho (fig. 73), as flutuações facilmente atingem os 8 graus de diferença.

Os envidraçados contribuem para ganhos solares exagerados por efeito da radiação solar que mesmo sendo reduzida pela existência de sombreamento pelo interior, não anulam o aumento da temperatura por radiação. A agravar está o facto de ser um compartimento imediatamente abaixo da cobertura. O único ponto favorável são os vãos envidraçados virados apenas a poente, que sendo desfavoráveis durante o dia, são favoráveis durante a noite.

Todos os meses registam temperaturas acima de valores de referência para conforto, acentuadas principalmente nos períodos mais desfavoráveis, finais de julho e mês de agosto (fig. 78 e fig. 79)

O sobreaquecimento é de tal forma acentuado que o interior do compartimento pode atingir temperaturas de 34 graus no seu interior (fig. 78).

#### 4.10.2. ÍNDICES PMV

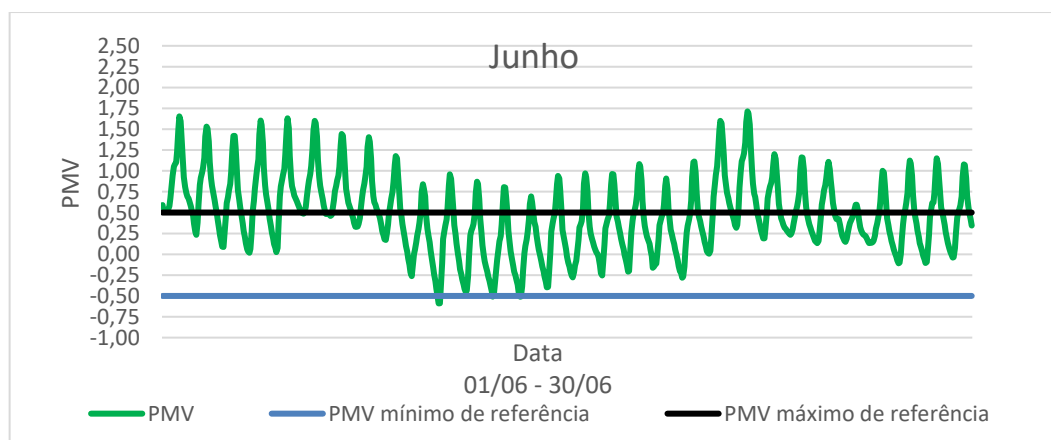


Fig.80 – Zona 6, mês de junho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

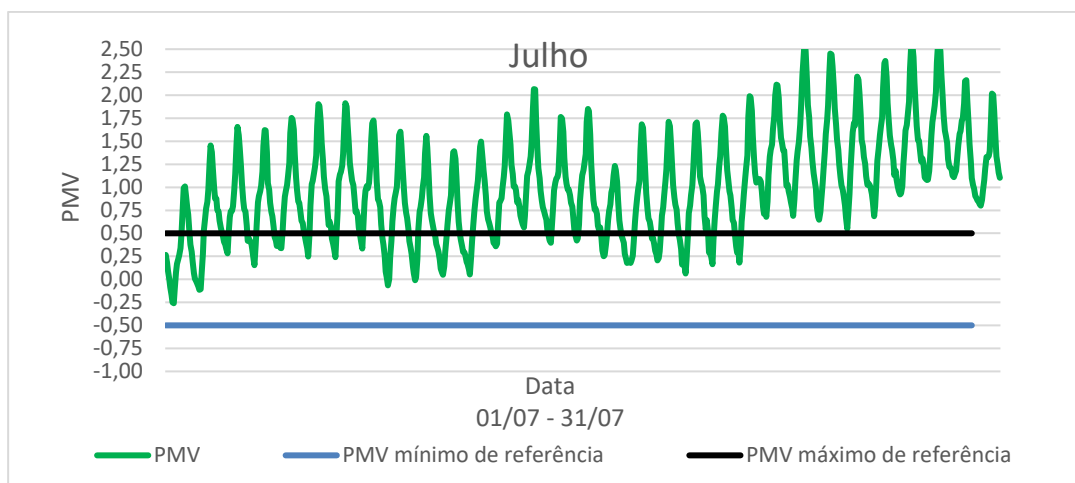


Fig.81 – Zona 6, mês de julho com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

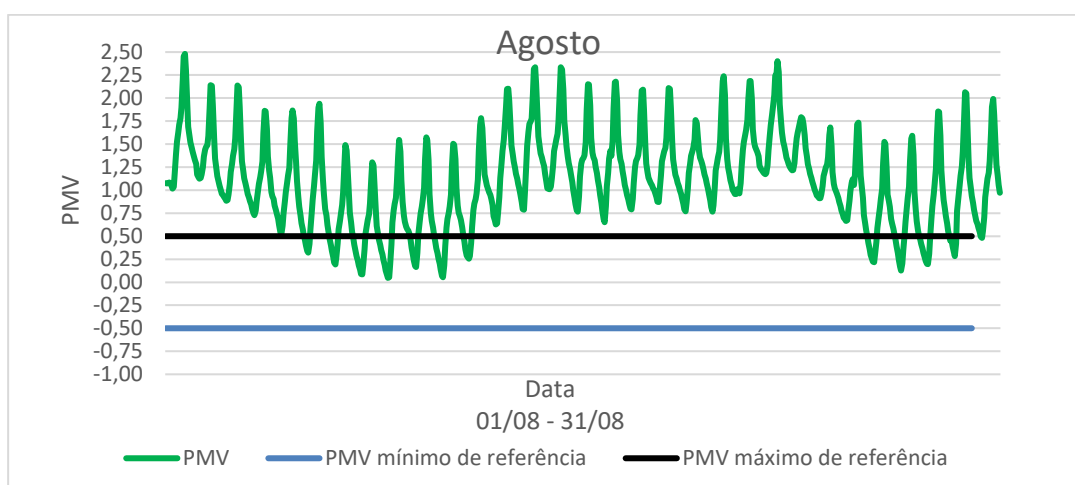


Fig.82 – Zona 6, mês de agosto com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo

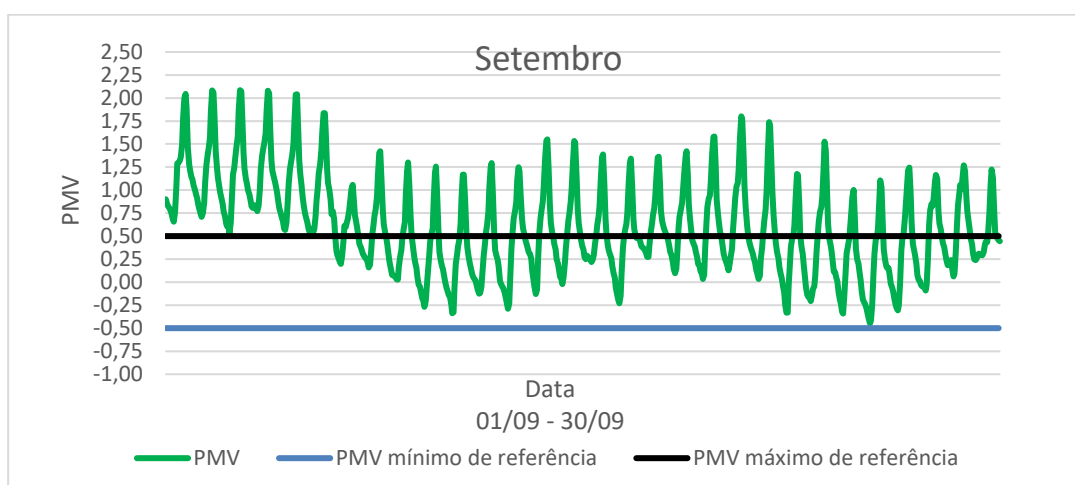


Fig.83 – Zona 6, mês de setembro com variação do índice PMV com representação dos limites mínimo e máximo



Todos os dias do período em análise, os índices PMV de *Fanger* ultrapassaram os limites por si estabelecidos,

O sobreaquecimento nesta zona é confirmado por valores que consistentemente atingem picos entre 1,5 e 2,25 nos casos mais desfavoráveis para a estação de arrefecimento.

As amplitudes térmicas no interior, também se refletem nestes índices pois somente durante a noite é possível estar num nível de conforto aceitável, porém acima de 0,5 em muitos casos.

#### 4.11. GRAUS HORAS DE DESCONFORTO

Como referido anteriormente, outro índice paramétrico para análise do conforto térmico são os graus-hora de desconforto.

Este parâmetro obtém-se a partir do somatório das diferenças positivas entre a temperatura do ar interior e a temperatura de referência de 25°C. Quanto maior o somatório, pior o grau de sobreaquecimento. [16]

No capítulo anterior, foram apresentados os gráficos com as oscilações da temperatura do ar interior em relação à temperatura de referência e o que se irá retratar em seguida são os valores acumulados das diferenças acima dos 25°C para cada uma das zonas em análise, ou seja, valores abaixo da referência de 25°C não serão contabilizados.

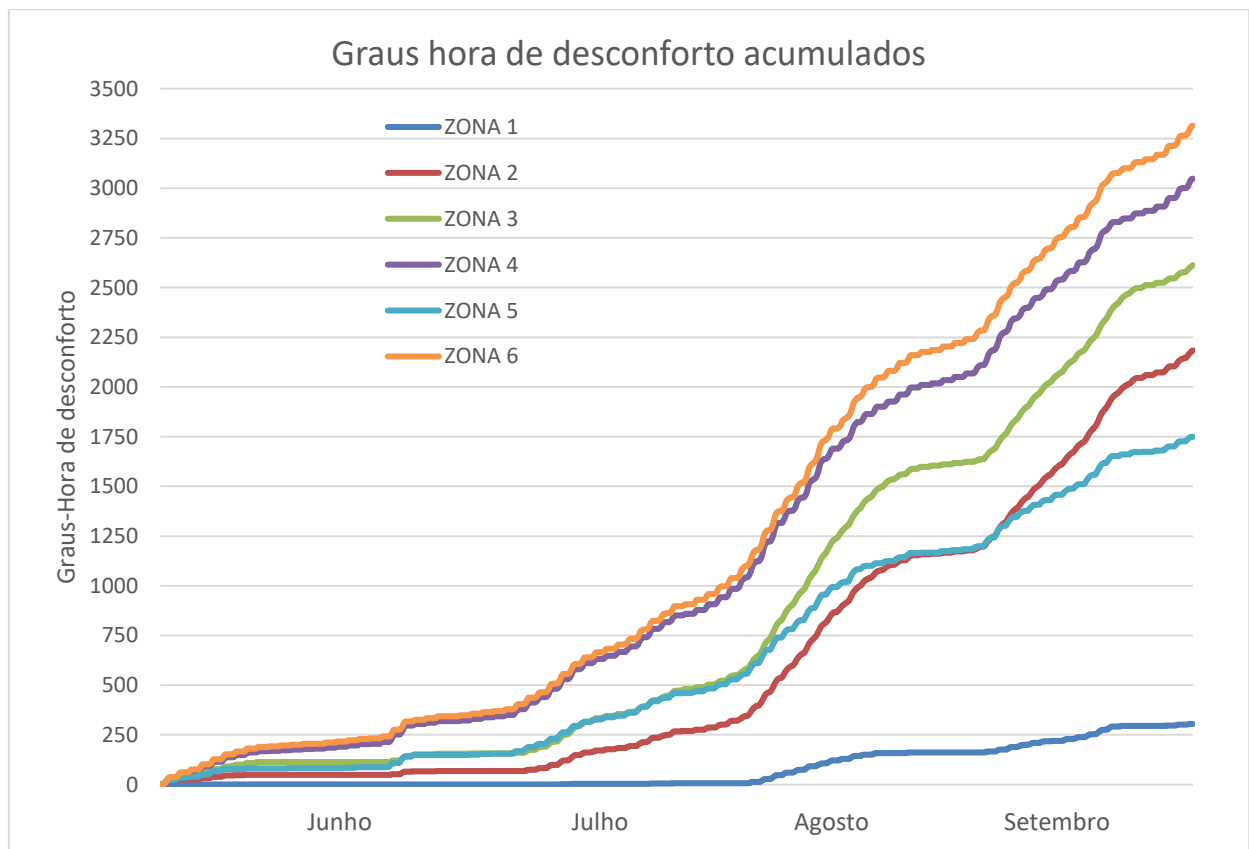


Fig.84 – Gráfico com os graus hora de desconforto acumulados durante os quatro meses de referência para a estação de arrefecimento

Pode-se observar pelo gráfico da figura 84, que a partir de agosto, a linha do valor acumulados de GhD da zona 3 (último piso do edifício antigo) cruza a linha da zona 5 (auditório). No final de julho e primeiros dias de agosto, os GhD são superiores para o compartimento do edifício antigo em relação à zona 5 do edifício novo.

O mesmo acontece com a linha da zona 2 (piso 1 do edifício antigo). Contudo, a linha da zona 2 apenas ganha mais declive na nos últimos dias de agosto.

Uma das razões para esse resultado está relacionada com a inércia. Esta apesar de ter um efeito benéfico essencialmente para atenuar os picos de temperatura, torna mais difícil o seu arrefecimento pois precisa de perder o calor todo que armazenou nas paredes, principalmente quando as temperaturas exteriores são continuamente altas, que foi o que se verificou nos últimos dias de julho e durante o mês de agosto. Na zona 2 e 3, o declive das curvas aumenta paralelamente ao aumento da temperatura exterior enquanto que na zona 5, o declive mantém-se praticamente constante. Durante esse período, acumularam-se mais graus horas de desconforto nas zonas 2 e 3 em relação à zona 5.

A zona 3, tem ganhos de calor por estar imediatamente abaixo da cobertura e poucas perdas de calor por ter uma envolvente bastante isolada (fachada principal e tetos). Apenas a parede virada a norte ficou por isolar.

Já a zona 5, está num local privilegiado pois tem um lado virado a norte, que se encontra em contacto com o terreno e que a torna mais fresca, acabando por “ganhar” a outras situações eventualmente menos conseguidas de “ventilação + intervenção de reabilitação” no edifício antigo.

#### **4.12. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO**

A fim de encontrar soluções que promovam a redução dos ganhos de energia e principalmente os picos de temperatura altas a que algumas zonas estão sujeitas, optou-se por fazer uma nova simulação considerando aspectos que potenciam o arrefecimento do ar interior e outros que evitem os ganhos excessivos de energia.

Para tal, foi desenhada uma pala para sombreamento da fachada a sul (junto à zona 4) com as dimensões segundo a figura 85.



Fig.85 – Sombreamento no edifício novo às 15h do dia 15 de julho com as dimensões da pala proposta

Além disso, decidiu-se aumentar o comprimento de 9cm para 24cm (15cm de aumento) do revestimento do edifício novo, por forma aumentar o tempo de sombreamento, principalmente quando o sol se encontra a sul, já que a poente o sol está tão baixo que os raios solares entram diretamente na zona 4 do edifício novo. Uma solução mais eficaz seria a utilização de componentes horizontais que optimizassem o sombreamento, contudo para não entrar em alterações excessivas na arquitetura original, optou-se apenas por aumentar a largura das ripas.

Por último, utilizou-se um modelo de ventilação variável tendo como limite máximo 5 renovações de ar horárias, como indicado no quadro 7.

Quadro 7 – Percentagem de renovações horárias do ar por escalas horárias

Horário	Renovações de ar horárias
23:00 – 8:00	100% ativo
8:00 – 10:00	50% ativo
10:00 – 13:00	30% ativo
13:00 – 20:00	10% ativo
20:00 – 22:00	40% ativo

Este modelo de ventilação, claramente favorece a ventilação noturna para assim ser mais difícil atingir os picos de temperaturas altas durante o dia.

Para facilitar a análise, foi apenas considerado o mês de agosto durante a simulação já que é um mês que fortemente contribui para o sobreaquecimento no interior do edifício. Após obtenção de novas temperaturas, procedeu-se à comparação com as temperaturas registadas nos capítulos 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 conforme indicado nas seguintes figuras:

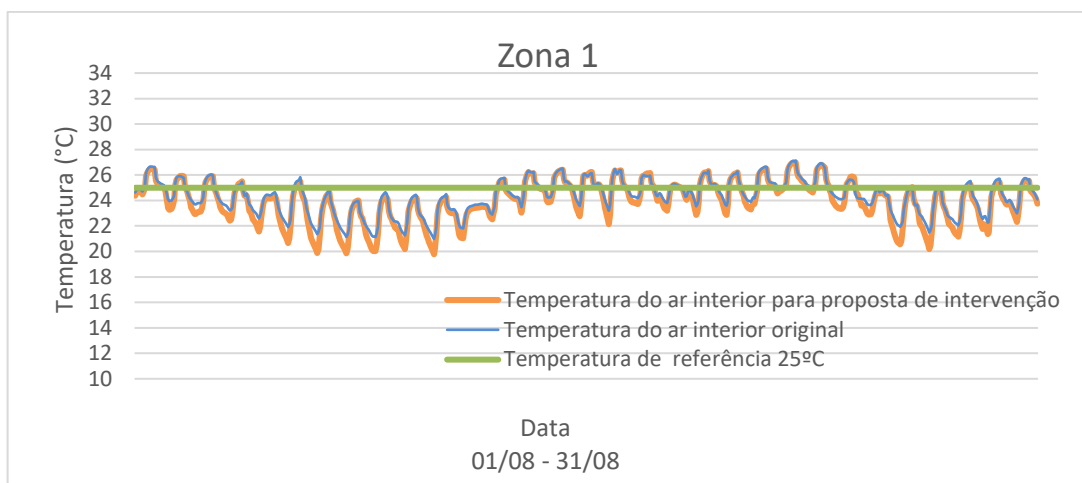


Fig.86 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 1

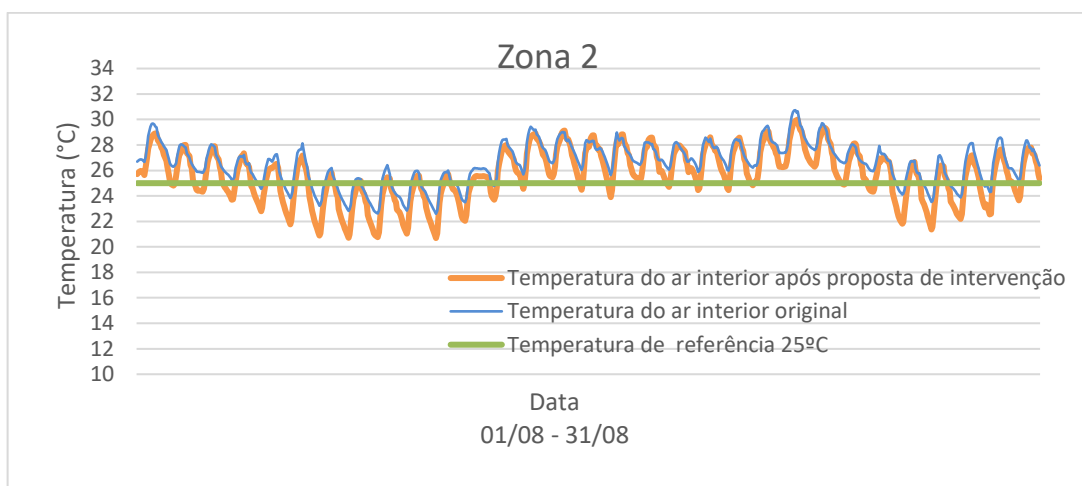


Fig.87 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 2

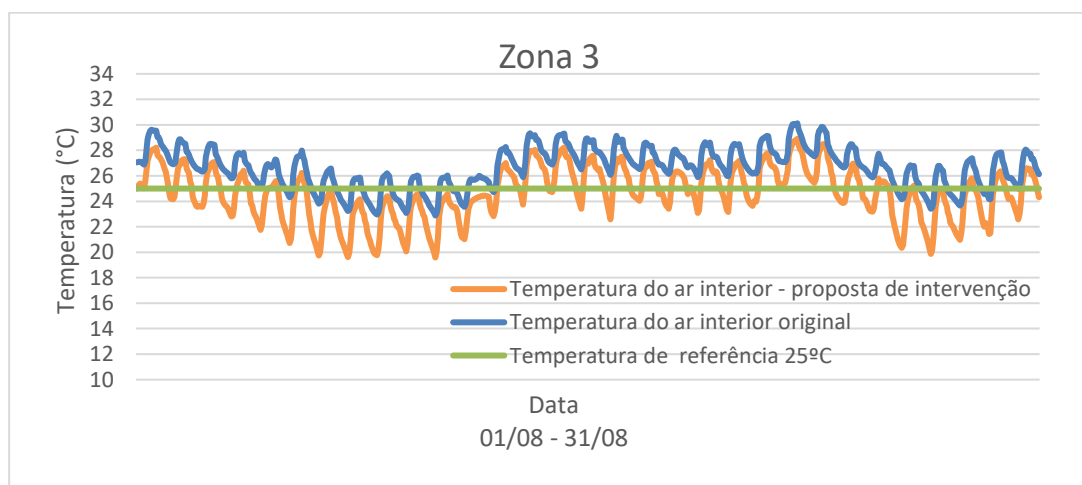


Fig.88 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 3

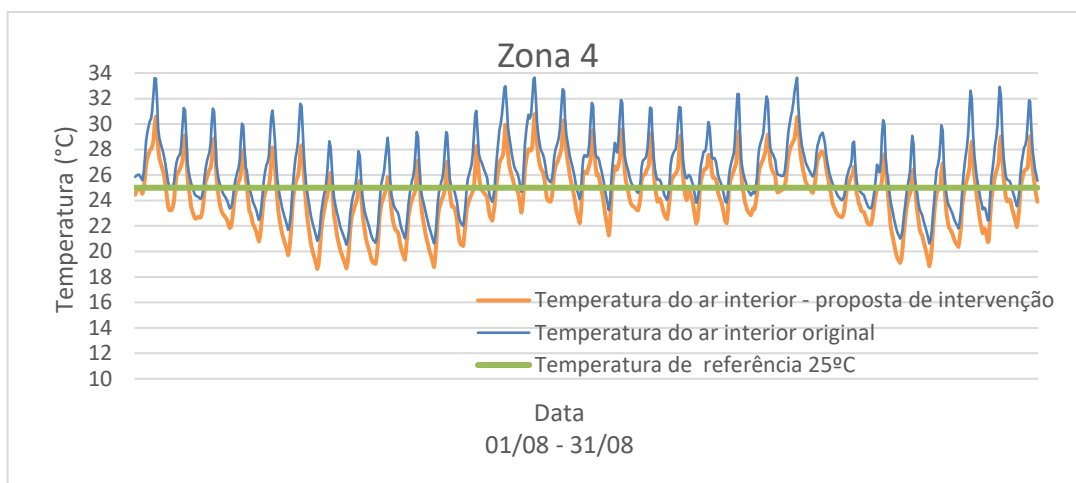


Fig.89 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 4

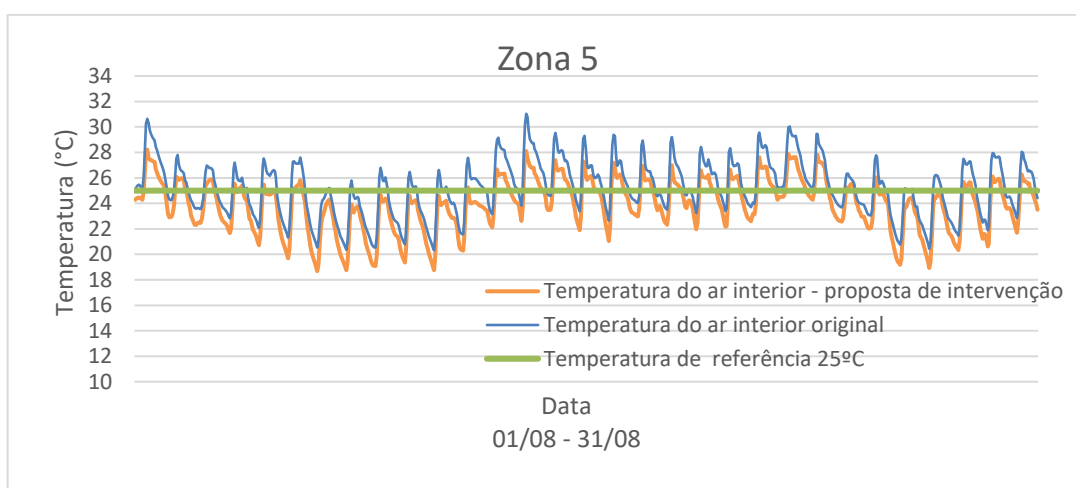


Fig.90 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 5

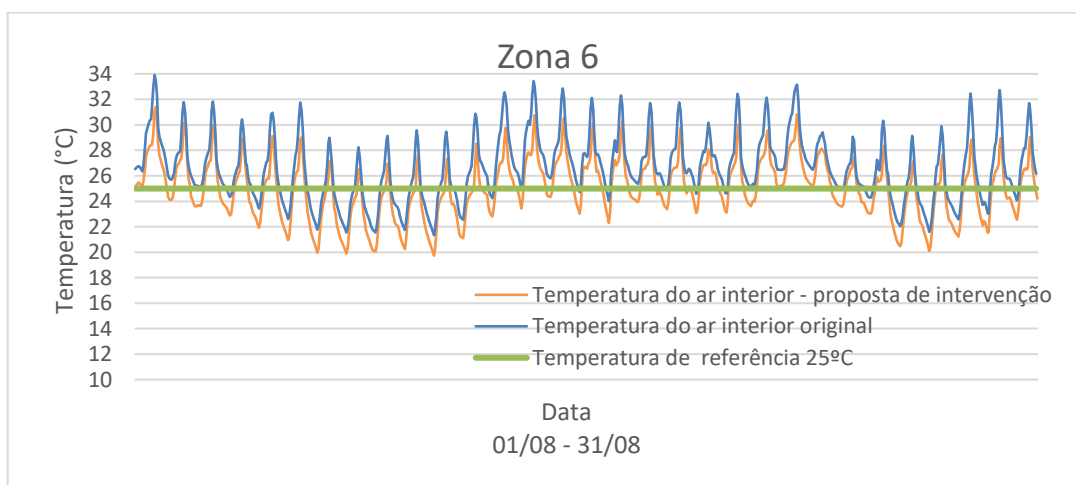


Fig.91 – Temperaturas do ar interior antes e após proposta de intervenção para a zona 6

No edifício antigo, o maior impacto das alterações foi na zona 3. Aqui, o efeito da ventilação provocou uma redução da temperatura máxima entre dois a quatro graus, mas foi nas temperaturas baixas que se notou uma maior redução.

No edifício novo, à semelhança do edifício antigo, existiu em média uma redução das temperaturas máximas e mínimas de três/quatro graus.

A proposta de alargamento da largura do revestimento em madeira no edifício novo, permitiu reduzir o declive do aumento da temperatura do ar interior durante duas horas. Observe-se a figura 92 relativa à zona 4 do edifício novo para os dias 21, 22 e 23 de Agosto. Na curva da temperatura do ar interior original, nota-se um aumento no declive da temperatura do ar interior após as 14 horas da tarde. Se analisarmos a curva da proposta de intervenção, o declive da curva mantém-se constante até às 16 horas da tarde, o que significa um atraso nos ganhos solares de duas horas. A partir dessa hora, o sol encontra-se a poente pelo que se torna difícil o sombreamento através do sistema vertical de revestimento em madeira.

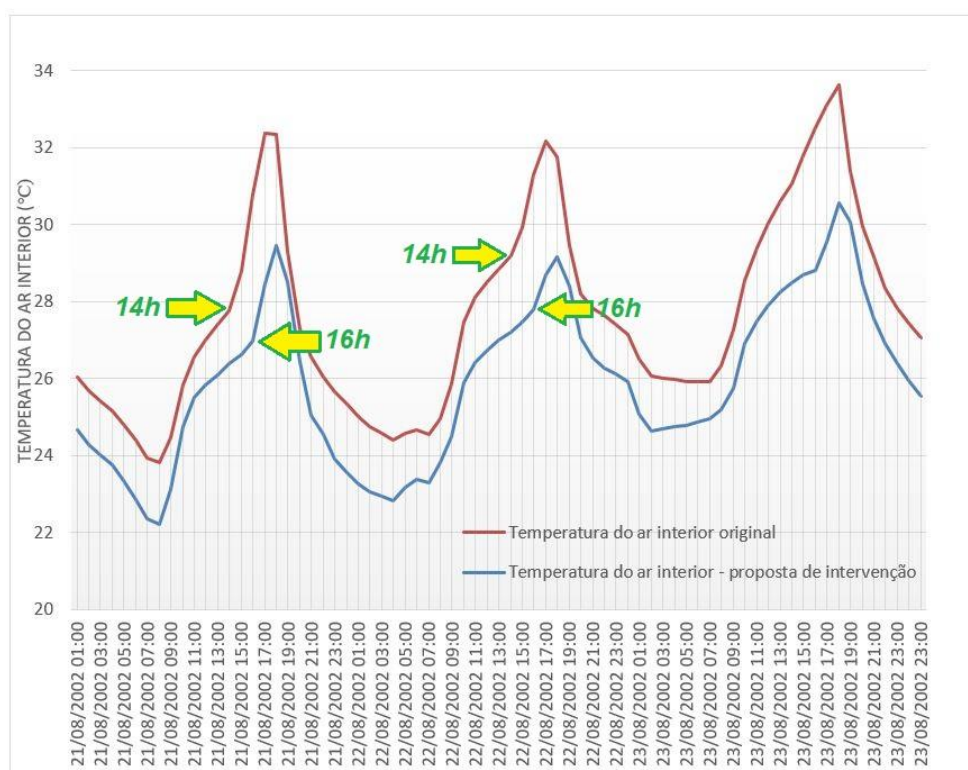


Fig.92 – Curvas da variação da temperatura do ar interior para a simulação original e para a proposta de intervenção na Zona 4.

Já a ventilação foi o parâmetro que teve maior influência na redução das temperaturas de ar interior. A ventilação noturna, além de refrescar o ar interior, também faz com que seja mais difícil atingir temperaturas mais altas durante o dia, pelo facto de terem descido bastante durante a noite.

# 5

## CONCLUSÃO

### 5.1. CONCLUSÕES GERAIS

Não é correto afirmar que para um bom desempenho térmico de Verão, um edifício precisa necessariamente de ter um nível elevado de isolamento térmico. Neste trabalho, o facto de existirem dois edifícios com arquiteturas distintas, provou que nem sempre o isolamento térmico é a solução para problemas de desconforto térmico.

O caso de estudo deste trabalho, permitiu tirar conclusões sobre alguns parâmetros que influenciam o conforto térmico.

Na zona 1 do edifício antigo, foram mantidas as características das paredes, essencialmente construídas em pedra. A inércia forte das paredes deste compartimento do rés-do-chão, permitiu controlar as variações de temperatura abrandando os picos de temperatura interior. Já no último piso deste edifício, as paredes da fachada principal virada a sul, foram construídas de raiz, e à semelhança da cobertura, o isolamento logo após as placas de gesso cartonado, reduziram a inércia térmica não permitindo que os ganhos de calor se dissipassem provocando um sobreaquecimento no seu interior. Em ambos os casos, a ventilação noturna favorece a dissipação do calor acumulado durante o dia, permitindo a troca do ar quente interior pelo ar fresco que vem do exterior.

No edifício novo, a simulação provou que paredes com grandes vãos envidraçados virados a poente são completamente desaconselhadas do ponto de vista de conforto térmico de Verão pois é muito difícil conseguir um sombreamento eficaz quando o sol está num nível mais baixo. Os ganhos que resultam da radiação solar incidente aquecem demasiado o ar interior e mesmo optando por um sistema de ventilação natural, este não seria suficientemente eficiente pois permitiria trocas de ar quente interior por ar quente exterior. Por outro lado, com um sistema de sombreamento para vãos orientados a sul, já é possível controlar, de algum modo, os ganhos solares evitando o sobreaquecimento.

Outra conclusão que se pode retirar de todas as simulações analisadas, é que em todos os compartimentos a ventilação noturna favorece o conforto térmico dos utilizadores do edifício. A troca de ar quente que resultou de ganhos térmicos durante o dia por ar mais fresco, reduz a temperatura do ar ambiente interior. Além disso pelo facto de se terem atingido temperaturas mais baixas durante a noite, os picos de temperatura durante as horas mais quentes são mais reduzidos pois torna-se mais difícil aquecer o ar ambiente.

## **5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para o caso de estudo deste trabalho, existem alguns sistemas que podem ser propostos e estudados por forma a reduzir os ganhos solares obtidos principalmente no edifício novo.

Uma das propostas seria a adoção de um sistema de sombreamento dinâmico e ajustável consoante a trajetória solar a fim de reduzir os ganhos solares com incidência principalmente na fachada virada a poente.

Outra proposta economicamente viável e sustentável, seria a criação de vegetação na envolvente do edifício como forma de aproveitamento do sombreamento natural, principalmente através da adoção de árvores de folha caduca. No verão as folhas filtram os raios solares indesejáveis nesta altura do ano, enquanto que no inverno a ausência de folhas permite que a radiação incida diretamente nas fachadas do edifício, fator importante para o aproveitamento de ganhos solares úteis na estação de aquecimento.







## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Castilla, M., Álvarez, J.D., Berenguel, M., Pérez, M., Rodríguez, F., Guzmán, J.L. *Técnicas de Control del Conforto en Edificios*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, La Cañada (Almeria), Espanha, 2010
- [2] Verdelho, Sara Isabel., *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. Dissertação de mestrado, FEUP, 2008
- [3] Frota, A.B, Shiffer, S., *Manual do conforto térmico*. Studio Nobel. 1995
- [4] [http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal\\_Booklet.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf). Abril de 2018
- [5] Oliveira, A. *Vãos envidraçados, desempenho térmico e conforto térmico humano*. Dissertação de doutoramento, FEUP, 2016
- [6] Charles, K.E. *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. Institute for research in construction, Ottawa, Canada, 2003
- [7] ASHRAE Standard 55-2010, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*
- [8] Pinto, A. R., Dias, B. Aquecimento solar passivo – ganhos diretos, indireto e isolados. Revista Arquitetura Lusíada N.7, 2015
- [9] Verdelho, S. *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. Dissertação de mestrado, FEUP, 2008
- [10] Gomes, N. *Avaliação do conforto térmico em edifícios antigos*, Dissertação de mestrado, FEUP, 2013
- [11] Mendes, V. *Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados*, Dissertação de mestrado, FEUP, 2011
- [12] Chvatal, K., *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão*. Dissertação de doutoramento, FEUP, 2006.
- [13] Ghiaus, C, Allard, F. (2004) *Natural ventilation in urban áreas – potencial assessment and optimal facade design -handbook*. URBVENT.
- [14] <https://www.designbuilder.co.uk/helpv5.4/>. Abril de 2018
- [15] <https://energyplus.net/>. Abril de 2018
- [16] Matos, J. *Avaliação do potencial de arrefecimento de um edifício através da ventilação no verão*, Dissertação de mestrado, FEUP, 2015
- [17] Freitas, V. (2012). *Manual de apoio ao projeto de reabilitação de edifícios antigos*, OERN, Porto
- [18] <http://bombeirosvaldo.blogspot.com/2012/09/transferencia-de-calor-e-termodinamica.html>, Março 2018
- [19] PINTO, A. R., DIAS, B, (2015). Aquecimento solar passivo – ganhos diretos, indiretos e isolados. Revista Arquitetura Lusíada N.7.
- [20] Innova AirTech Instruments, *Thermal Confort*, 1997





